



Inovace stříhacích nástrojů modulární výrobní linky pro výrobu sofistikovaných adhezivních krytů ran

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T010 – Inovační inženýrství
Autor práce: **Bc. Martin Dolanský**
Vedoucí práce: prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.





Innovation of the cutting tools of the modular production line for the production of sophisticated adhesive wound covers

Master thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 3909T010 – Innovation Engineering
Author: **Bc. Martin Dolanský**
Supervisor: prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.



Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Dolanský**
Osobní číslo: **S16000300**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Inovační inženýrství**
Název tématu: **Inovace stříhacích nástrojů modulární výrobní linky pro výrobu sofistikovaných adhezivních krytů ran**
Zadávající katedra: **Katedra částí a mechanismů strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Inovujte stříhací nástroje modulární výrobní linky pro výrobu sofistikovaných odhezivních krytů ran. Parametry linky 1 ks/sec. rozměry krytu 7,5/10cm, 10/10cm, 15/10cm, 15/15 cm. Tvarové stříhání s odkládáním na dopravní pás s rychlostí 200-1500 cm/min.

1. Představení problému (cíl, seznámení s problémem, stávající řešení)
2. Naplánování projektu (harmonogram, inovační příležitosti, inovační prohlášení)
3. Návrh konceptů, zhodnocení jednotlivých variant a výběr nejvýhodnější varianty
4. Rozpracování konečné varianty
5. Zhodnocení inovace vůči na trhu existujícím konstrukcím
6. Závěrečné zhodnocení

Rozsah grafických prací: přílohy dle potřeby

Rozsah pracovní zprávy: 50

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] MAŠÍN, I. *Inovační inženýrství. Plánování a návrh inovovaného výrobku*. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 168s. ISBN 978-80-7372-852-6.
- [2] LEPŠÍK, P. a VODIČKA, J. *Plánování a řízení společných projektů*. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 124s. ISBN 978-80-7372-920-2.
- [3] LEPŠÍK, P. a MAŠÍN, J. *Nástroje řízení projektů*. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 202s. ISBN 987-90-7372-854-0.
- [4] LEPŠÍK, P. a MAŠÍN, J. *Analýza procesů*. 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 132s. ISBN 987-90-7372-456-6.
- [5] PEŠÍK L. *Části strojů. 1. díl*. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-573-0
- [6] PEŠÍK, L. *Části strojů. 2. díl*. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-574-7
- [7] LEINVEBER, J. a VÁVRA, P. *Strojnické tabulky. Úvaly*: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4
- [8] MAŠÍN, I. a ŠEVČÍK, L. *Metody inovačního inženýrství: Inovace, plánování a navrhování výrobku*. Vyd. 1. Liberec: Institut technologií a managementu, 2006. ISBN 80-903533-0-4
- Databáze knihovny TUL
Databáze knihovny TUL

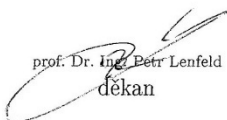
Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.

Katedra částí a mechanismů strojů

Konzultant diplomové práce: Martin Červeňák

Datum zadání diplomové práce: 5. listopadu 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 5. února 2019


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.


prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 18. října 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Především bych velmi rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc., za ochotu při podávání cenných rad a připomínek při tvorbě této práce.

Dále děkuji zástupcům společností ESON CZ s.r.o. a EMTEX s.r.o. za spolupráci při řešení týkajícího se mého zadání. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu při tvorbě této práce a zároveň i v průběhu celého studia.

Anotace

Diplomová práce pojednává o inovaci a konstrukčním návrhu stříhacího modulu, který je součástí modulární výrobní linky pro výrobu sofistikovaných adhezivních krytů ran s ohledem na standard Cleanroom ISO Class 8 a odolnosti vůči chlóru. V práci se postupuje dle základních inovačních kroků, jako jsou průzkum trhu a stávajících řešení, patentový průzkum, návrh konceptů a další. Pomocí metody hodnocení konceptů byla vybrána nejvhodnější varianta konceptu. Zvolená varianta byla dále zkonstruována a zpracována, včetně pevnostních výpočtů důležitých částí, až do formy technické dokumentace jednotlivých komponentů a dílů.

Klíčová slova

Inovace, stříhací modul, adhezivní kryt, koncept, výsekový nástroj

Annotation

The diploma thesis deals with the innovation and construction design of the cutting module, which is part of a modular production line for the production of sophisticated adhesive wound covers with respect to the Cleanroom ISO Class 8 standard and chlorine resistance. The work follows the basic innovation steps, such as market research and existing solutions, patent research, draft concepts and more. Using the concept assessment method, the most appropriate vision of the concept was selected. The chosen variant was further designed and processed, including strength calculations of important parts, up to the technical documentation of individual components and parts.

Key words

Innovation, cutting module, adhesive cover, concept, cutting tool

Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Cíl práce.....	11
1.2	Stávající řešení.....	13
2	Plánování inovace výrobku.....	15
2.1	Harmonogram projektu.....	15
2.2	Inovační záměr	17
2.3	Inovační prohlášení.....	17
2.4	Inovační příležitosti	17
2.4.1	Patentový průzkum	17
2.4.2	Průzkum trhu.....	21
2.5	Analýza inovačních příležitostí	23
3	Návrh konceptů.....	25
3.1	Identifikace zákaznických potřeb	25
3.2	QFD (Voice of Customer, VOC).....	26
3.3	Morfologická matice.....	28
3.4	Koncept A.....	29
3.5	Koncept B	31
3.6	Koncept C	33
3.7	Zhodnocení a výběr konceptu.....	35
4	Rozpracování konečné varianty	40
4.1	Návrh válců a ozubení	40
4.2	Návrh pneumatických válců	41
4.3	Návrh a kontrola ložisek.....	42
4.4	Výpočet průhybu válce	47
4.5	Pevnostní kontrola válce.....	48

4.6	Návrh pohonu válců.....	51
4.7	Návrh rámu	53
4.7.1	Kontrola rámu	54
4.7.2	Optimalizace rámu	55
4.8	Výsledná konstrukce.....	58
5	Zhodnocení inovace	60
6	Závěr	62
	Seznam použité literatury	65
	Seznam obrázků.....	68
	Seznam tabulek	70

1 Úvod

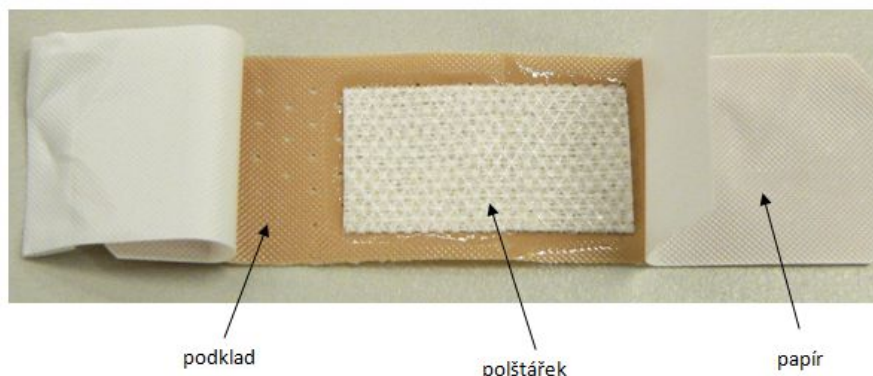
V současné době se stále zvyšují nároky a požadavky v různých nejen technických odvětvích a jejich vývoj stále zrychluje. Například ve zdravotnictví se dnes od původních jednotných tvarů adhezivních krytů ran, které se dále musely odstříhávat či jinak upravovat na požadovaný rozměr jejich uživatelem, přechází na výrobu různě sofistikovaných náplastí. Tento krok ovšem přináší požadavek na úpravu – inovaci stávajících výrobních linek, zejména jejich stříhacích nástrojů.

S požadavkem na zhotovení modulární výrobní linky pro výrobu sofistikovaných adhezivních krytů ran se na Technickou univerzitu v Liberci obrátila společnost EMTEX s.r.o. sídlící ve Dvoře Králové. Tato společnost se zabývá výrobou a obchodem kusového a metrového textilu, povlečení a adhezivních krytů ran.

Dosavadní výroba krytů ran ve jmenované společnosti je rozdělena do tří kroků a je realizována pomocí třech výrobních linek. Nejprve na prvním zařízení dojde k nanesení lepidla na podkladový materiál. Dalším krokem je přilnutí polštářku a překryvu na adhezivní podklad. Posledním krokem je samotné stříhání náplastí pouze do čtvercového nebo obdélníkového tvaru.

Dnes je ve zdravotnictví využívána široká škála náplastí. Náplast je obvazový materiál, který slouží k překrytí rány, fixaci jiného obvazového materiálu nebo k nouzové fixaci poranění. Bývá vybavena polštářkem, který může nést léčivé nebo dezinfekční látky. Na materiál náplastí jsou kladeny vysoké požadavky. Náplast musí být přilnavá, ale při snímání nesmí poškozovat pokožku. Neměla by způsobovat alergii, měla by být prodyšná, odolná, poddajná, přijatelně estetická a v neposlední řadě i cenově dostupná. Náplast může být v nesterilním nebo sterilním obalu, který překrývá zejména část určenou pro přímý styk s ránou. Lepicí plochy jsou překryty lehce snímatelnými kryty, chránícími lepivou plochu před vysycháním a znečištěním. Adhezivní vrstva lepidla je založena na akrylátové bázi. Některá lepidla mohou obsahovat i latex, který ale není příliš vhodný z důvodu častého výskytu alergických reakcí u pacientů. Materiál podkladu pro lepidlo závisí na účelu náplasti; například plastový podklad (PVC, PE, PU aj.) je odolný vůči vlhkému prostředí. Dále existují vysoce poddajné, prodyšné a elastické látkové (netkané, tkané, stretch) náplasti. Pro citlivou kůži jsou užívány náplasti z jemné netkané textilie. Polštářek je zpravidla vyroben převážně

z upravené bavlny a dalších přírodních či umělých vláken, tak aby přilnul, ale nepřilepil se k ráně.[1]



Obrázek 1: Sestava náplasti, zdroj: [vlastní]

1.1 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je inovace stříhacích nástrojů modulární výrobní linky pro výrobu sofistikovaných adhezivních krytů ran. Navržené koncepty a jejich konstrukční řešení vychází ze zadaných parametrů. Celá výrobní linka musí splňovat standard Cleanroom ISO Class 8 [2]. Tato norma vyskytující se ve výrobě nejen farmaceutických produktů udává úroveň kontaminace výrobního prostředí různými znečišťujícími látkami, jako jsou prach, mikroby, aerosolové částice a jiné chemické látky. Úroveň kontaminace se určuje pomocí počtu částic na 1 m^3 a dle norem ISO 14644-1 a ISO 14698 je rozdělena do 9 úrovní. Pro dosažení těchto požadavků je zapotřebí různých chlórových dezinfekcí a čistidel. Proto jednotlivé díly a komponenty musí být tvořeny z odolných konstrukčních materiálů vůči těmto látkám.

Hlavním důvodem inovace stříhacích nástrojů je možnost výroby sofistikovaných tvarů náplastí s ohledem na snadnou změnu stříhaného tvaru. Nástroje musí být navrženy tak, aby byly schopny vystřihovat všechny jednotlivé části náplasti, které jsou tvořeny z plastových, textilních a papírových materiálů. Dalším požadavkem na stříhací modul je možnost dělení materiálů náplastí perforovaně nebo zcela po celém obvodu stříhu. Konstrukce modulu musí být navržena tak, aby bylo možné zařízení umístit „letmo“ na základní nosnou desku výrobní linky. Dělený pás polotovaru musí být veden ve vzdálenosti max. 45 mm od této základní desky.

Tabulka 1: Technické zadání

Parametry výrobku	Hodnota
Maximální možná šíře pásu materiálu	150 mm
Maximální možná délka krytu ran	380 mm
Vzdálenost polotovaru od nosné desky	Max. 45 mm
Rychlost stříhání	1ks/s s odkládáním na dopravníkový pás o rychlosti 200–1500 cm/min
Vystřihovaný tvar	Libovolný
Požadované rozměry krytu	75/100 mm; 100/100 mm; 150/100 mm; 150/150 mm

Při návrhu výrobku se postupovalo dle vybraných metod z inovačního inženýrství [3]. Nejprve je zapotřebí naplánovat inovaci střížných nástrojů, která se skládá z následujících kroků:

- Identifikace inovačních příležitostí a jejich hodnocení
- Vypracování harmonogramu
- Inovační prohlášení

Takto získané informace budou dále využity pro navržení 3 konceptů. Neméně důležitým ukazatelem při návrhu konceptu je metoda QFD (Quality Function Deployment), která zajišťuje, že zákazníkův hlas bude zahrnut již ve fázi návrhu a plánování produktu. Dalším významným nástrojem pro kreativní generování konceptu výrobku je Morfologická matice, do které se uvedou dílčí funkce a k nim se přidělí jednotlivé možnosti řešení. U všech konceptů bude vysvětlen princip jejich funkce pomocí 2D náčrtu, zjednodušeného 3D modelu a popřípadě doplňujících obrázků či fotografií. Následně se navržené koncepty vyhodnotí pomocí metody AHP (Analytic Hierarchy Process), díky které se vybere nejvhodnější varianta konceptu.

Po výběru nejvhodnější varianty dojde k jejímu detailnímu konstrukčnímu rozpracování, které se dále využije k její realizaci. Součástí konstrukce budou i pevnostní výpočty stěžejních součástí a dílů a optimalizace rámu.

Dále se vyhodnotí a porovná inovované řešení se stávajícím. Nejdůležitějšími ukazateli pro hodnocení budou zejména možnost stříhu libovolných tvarů, časová náročnost výměny nástrojů pro změnu stříhaného tvaru a rychlost stříhání.

Na závěr dojde k vyhodnocení průběhu práce a kroků, ze kterých se skládá, a určí se, zda cíl práce byl naplněn.

1.2 Stávající řešení

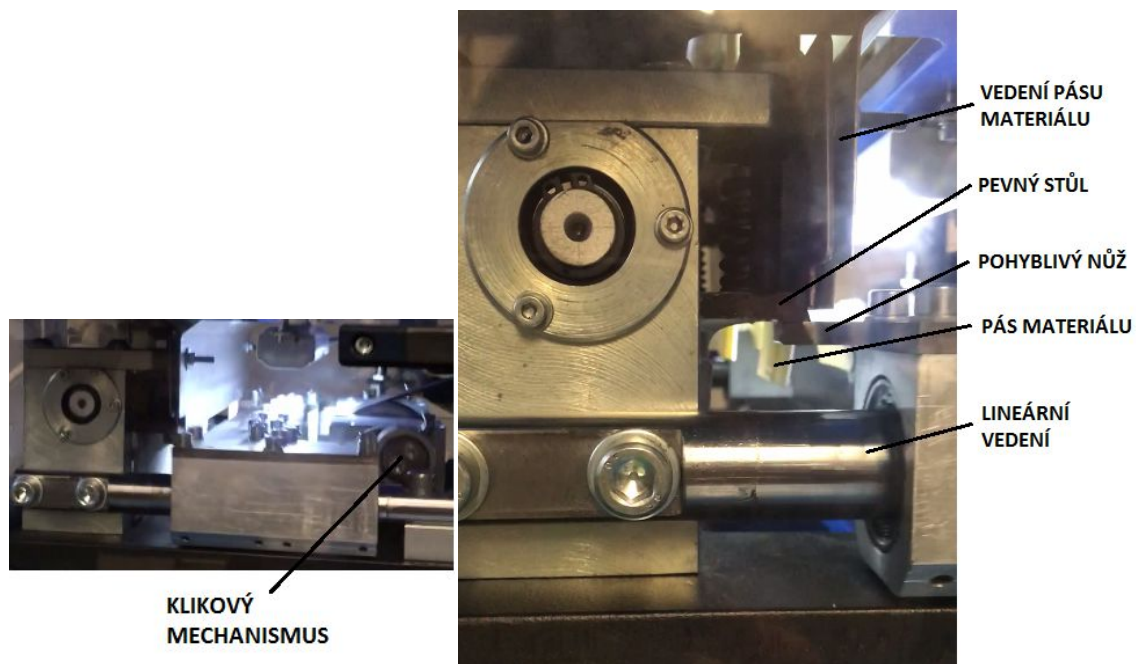
Ve společnosti EMTEX s.r.o. je výroba krytů ran do dnešní doby rozdělena do 3 technologií, jak již bylo zmíněno výše. Nejprve dojde k nanesení adhezivní vrstvy lepidla na podkladový textilní nebo fóliový materiál. Dále dochází k přitlačování a přilnutí polštářku a následně i dvou překryvů polštářku na podklad s adhezivní vrstvou. Konečnou technologií je samotné dělení krytů ran, kterým se dále tato práce zabývá.

Pro dělení náplastí slouží samostatné zařízení s vysekávacím členem, řídicí jednotkou, odvíjecími dutinkami a pásovým dopravníkem.



Obrázek 2: Stávající stříhací zařízení ve společnosti EMTEX s.r.o., zdroj: [vlastní]

Na tomto zařízení jsou umístěny dvě odvíjecí dutinky, na které se nasadí role materiálu. Z dutinek se pomocí dvou rotačních válců přitlačovaných k sobě odvíjí pásy materiálu, které se dále dělí pomocí lineárního pohybu nože (střížníku) vůči stolu (střížnici). Oddělený materiál dále volně padá na pás dopravníku umístěný pod stříhacími nástroji, který dále dopravuje již nastříhané kryty ran v požadované velikosti do sběrného boxu. Nůž je poháněn pomocí klikového mechanismu. Jedná se tedy o přerušovaný, neplynulý chod odvíjení.



Obrázek 3: Detail konstrukčního řešení stříhacích nástrojů, zdroj: EMTEX s.r.o., zdroj: [vlastní]

2 Plánování inovace výrobku

V této kapitole bude rozvržen postup inovace od prvotního plánování, zhotovení harmonogramu projektu, formulace inovačního záměru a prohlášení až po inovační příležitosti, které zahrnují patentový a konkurenční trhový průzkum.

Na počátku inovace výrobku je nutno dodat, že pro zhotovení inovačních postupů a metod je vhodné pracovat v týmu skládajícím se alespoň ze 2 a více osob.

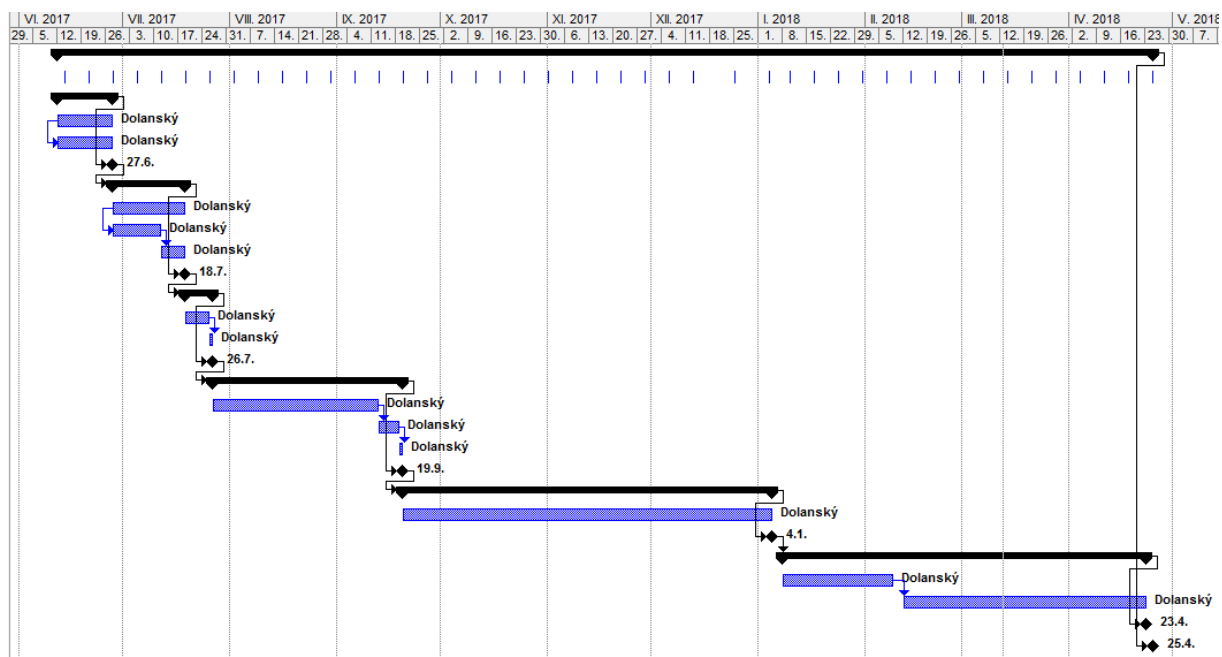
2.1 Harmonogram projektu

Nejprve byl stanoven časový plán inovačního projektu v programu MS Project 2013 (obr. 4) [4]. V programu se řešení problému rozdělí do více podproblémů – fází, přidělí se zdroje pro plnění úkolů a stanoví se časové omezení včetně dalších potřebných opatření jednotlivých úkolů. Program z těchto informací vygeneruje plán projektu zobrazený v Ganttově diagramu a vypočítá předpokládaný konečný termín. Z Ganttova digramu lze dále kontrolovat průběh projektu, porovnávat směrný plán se skutečností. Neméně důležitou součástí stanoveného diagramu je znázornění kritických cest a úkolů, na které je třeba klást větší důraz.

V harmonogramu byl stanoven začátek projektu 12. června 2017. Pracovní doba byla stanovena průměrně na 3 hodiny denně ve dnech od pondělí do čtvrtka mimo svátky. Konzultace s vedoucím práce prof. Ing. Ladislavem Ševčíkem, CSc., je naplánována na každou středu. Z diagramu plyne, že předpokládaný termín pro ukončení takto definovaného projektu je 25. dubna 2018 (obr. 5).

		Název úkolu	Doba trvání	Zahájení	Dokončení	Předchůdci	Názvy zdrojů
1		Inovace stříhacích nástrojů	183,13 dny	12.6. 17	25.4. 18		
2		Konzultace	181,13 dny	14.6. 17	25.4. 18		prof. Ševčík
49		Fáze 1 - Analýza původního řešení	12 dny	12.6. 17	27.6. 17		
50		Specifikace stávajícího řešení	12 dny	12.6. 17	27.6. 17		Dolanský
51		Vyhodnocení nedostatků	12 dny	12.6. 17	27.6. 17	50SS	Dolanský
52		Konec fáze 1	0 dny	27.6. 17	27.6. 17	49	
53		Fáze 2 - Hledání nových řešení	14 dny	28.6. 17	18.7. 17	52	
54		Průzkum trhu, konkurence	14 dny	28.6. 17	18.7. 17		Dolanský
55		Patentový průzkum	10 dny	28.6. 17	11.7. 17	54SS	Dolanský
56		Stanovení požadavků - cíle	4 dny	12.7. 17	18.7. 17	55	Dolanský
57		Konec fáze 2	0 dny	18.7. 17	18.7. 17	53	
58		Fáze 3 - Plánování inovace	5 dny	19.7. 17	26.7. 17	57	
59		Inovační příležitosti	4 dny	19.7. 17	25.7. 17		Dolanský
60		Inovační prohlášení	1 den	26.7. 17	26.7. 17	59	Dolanský
61		Konec fáze 3	0 dny	26.7. 17	26.7. 17	58	
62		Fáze 4 - Návrh konceptů	30 dny	27.7. 17	19.9. 17	61	
63		Návrh konceptů	26 dny	27.7. 17	12.9. 17		Dolanský
64		Hodnocení konceptů (AHP)	3 dny	13.9. 17	18.9. 17	63	Dolanský
65		Výběr konceptu	1 den	19.9. 17	19.9. 17	64	Dolanský
66		Konec fáze 4	0 dny	19.9. 17	19.9. 17	62	
67		Fáze 5 - Konstrukce	60 dny	20.9. 17	4.1. 18	66	
68		Konstrukce stříhacích nástrojů, komunikace s dodavateli	60 dny	20.9. 17	4.1. 18		Dolanský
69		Konec fáze 5	0 dny	4.1. 18	4.1. 18	67	
70		Fáze 6 - Technická zpráva, dokumentace	60,5 dny	8.1. 18	23.4. 18	69	
71		Zhotovení dokumentace	20 dny	8.1. 18	8.2. 18		Dolanský
72		Zhotovení zprávy	40 dny	12.2. 18	23.4. 18	71	Dolanský
73		Konec fáze 6	0 dny	23.4. 18	23.4. 18	70	
74		Konec projektu	0 dny	25.4. 18	25.4. 18	1	

Obrázek 4: Časové rozvržení projektu, zdroj: [vlastní]



Obrázek 5: Ganttův diagram, zdroj: [vlastní]

2.2 Inovační záměr

Navrhnete a zkonstruujete vysekávací nástroje modulární výrobní linky. Linka je určena pro výrobu sofistikovaných adhezivních krytů ran. Zařízení musí splňovat technické zadání a parametry uvedené v 1. kapitole. Stříhací modul musí být snadno měnitelný pro různé tvary krytů ran a musí být zajištěn plynulý chod toku materiálu.

2.3 Inovační prohlášení

V inovačním prohlášení jsou uvedeny informace o inovaci ve formě tabulky, která přesněji definuje jednotlivé směry, které jsou nedílnou součástí při vývoji výrobku (tab. 2).

Tabulka 2: Inovační prohlášení

Popis inovovaného výrobku	Stříhací modul sofistikovaných adhezivních krytů ran pro lékařské účely se snadnou a rychlou výměnou nástrojů pro různé tvary
Klíčové obchodní cíle	Prodej navrženého zařízení pro farmaceutické společnosti
Primární trh	Farmaceutické provozy
Sekundární trh	Obalový a tiskařský průmysl zaměřený na výsekové nástroje
Předpoklady	Licence CAD software
Omezení	Závislost na externích dodavatelích a výrobcích

2.4 Inovační příležitosti

Nedílnou součástí procesu plánování je identifikace příležitostí. V této části se rozhoduje o vzniku nového výrobku nebo na dílčím zlepšení existujícího s ohledem na výrobovou platformu. Pro analyzování příležitostí proběhl patentový průzkum, průzkum trhu a konzultace s uživateli a zákazníkem.

2.4.1 Patentový průzkum

Pro vyhledávání v patentových databázích je zapotřebí správně definovat klíčová slova pro nalezení patentových spisů vedoucích k řešení problému. K tomuto účelu slouží nástroj FOS (Function Oriented Search) neboli Funkčně orientované vyhledávání. Umožňuje vyhledávání a efektivní využití vhodných řešení i z jiných oblastí a jiných technologií, než kterými se zabýváme.

Pro nalezení nejvhodnějších patentů v databázi „<https://patents.google.com>“ byla použita tato klíčová slova:

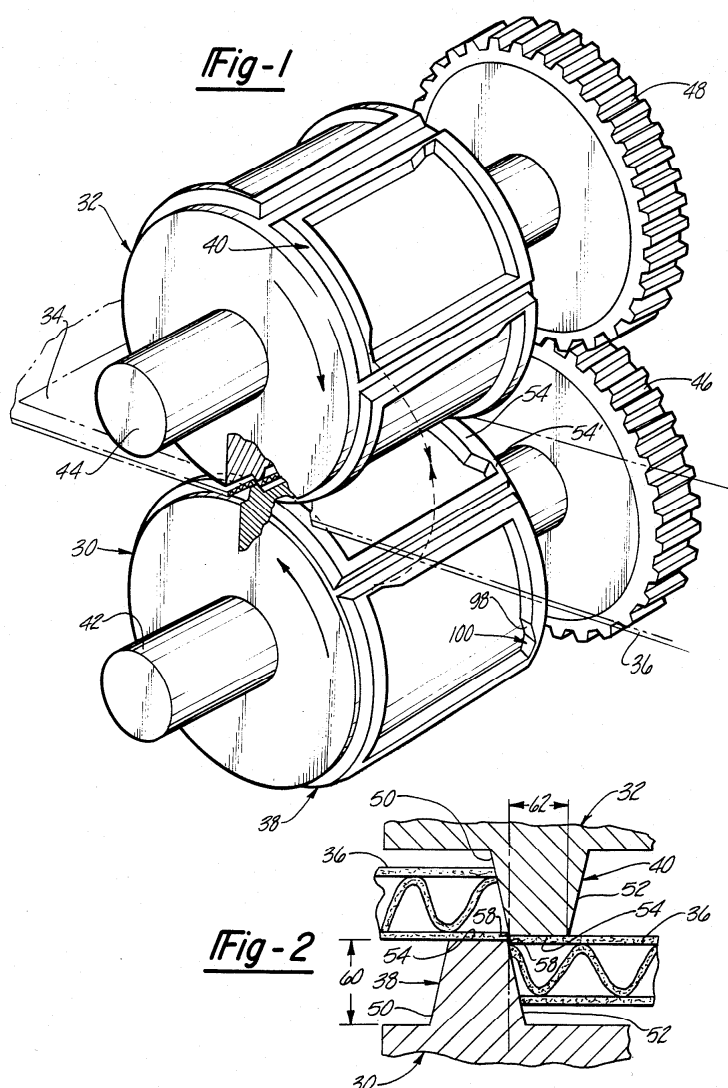
- Řezací zařízení (die cutting)
- Vystřihování, vysekávání materiálu (cutting out material)

- Tvarové dělení materiálu (shape die cutting)
- Separování materiálu (separating material)

1. US4608895A

Rotary die cutting (1984)

Patent poukazuje na systém zpracování materiálu s dvojicí rotačních nástrojů (válců), které mají spolupůsobící řezné břity pro řezání materiálu z pásu, který prochází mezi nimi. Válce mají přesně definovanou polohu vůči sobě a jejich výsekové tvary zapadají do sebe, kde dochází k oddělení materiálu. [5]



Obrázek 6: Rotační řezání válcovými nástroji, zdroj: [5]

Rotary die cutting system and method for sheet material (1990)

5,388,490

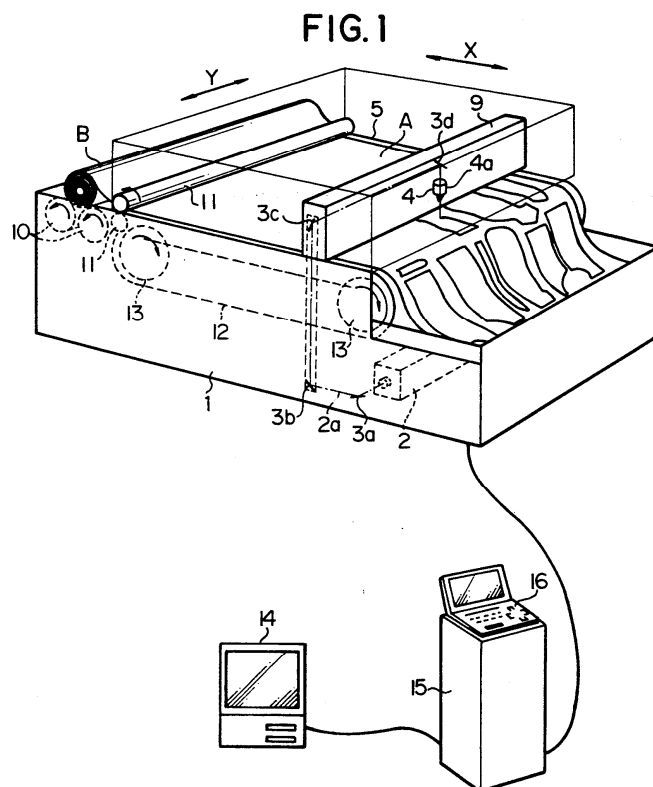


3. US5200592A

Automatic cutting apparatus for cloth (1990)

Jedná se o automatické řezací zařízení určené pro zpracování textilie. Zařízení je samo schopno definovat příslušnou tkaninu a řezat ji laserovým paprskem podle její charakteristiky za optimálních řezných podmínek. Jak je uvedeno přímo v abstraktu patentu, tak toto zařízení je vhodné pro zpracování námi požadovaných látkových materiálů. [7]

Pomocí laserové technologie lze dělit materiály velmi přesně, a to i křehké či lehce deformovatelné. Díky možnosti ovládání laserového paprsku je možné vytvářet i velmi komplikované tvary s vysokou kvalitou řezu. Pro náš účel by bylo dělení laserem velmi efektivní metodou. Ovšem musíme brát v potaz, že při řezání dochází i k výraznému vzniku a přenosu tepla, které může negativně ovlivnit povrch materiálu, např. natavené či opálené řezané plochy aj. Dále při pálení materiálu vznikají spaliny, které by znečišťovaly výrobní prostředí, čímž by nebyl plněn požadavek na čisté prostředí dle standardu Cleanroom ISO Class 8. Z tohoto důvodu při výrobě farmaceutických a medicínských krytů ran nemůžeme tuto metodu využít.



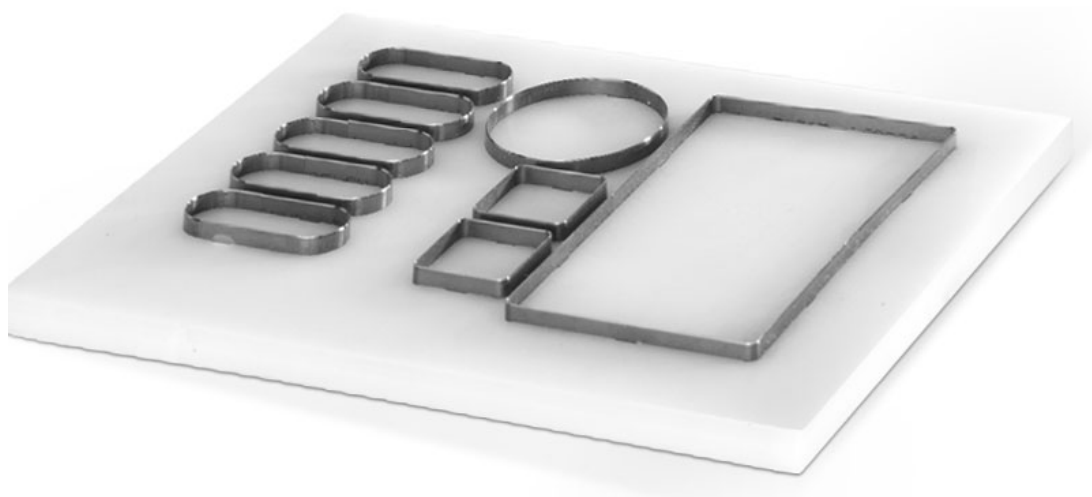
Obrázek 8: Automatické laserové řezací zařízení, zdroj: [7]

2.4.2 Průzkum trhu

Průzkum nabízených produktů na trhu byl zaměřen na produkty se stejnou či podobnou problematikou dělení materiálu. Nejvhodnější technologie byly nalezeny v textilním, tiskařském, obalovém a těmto podobném průmyslu.

1. Výsekový nástroj s pásovým nožem

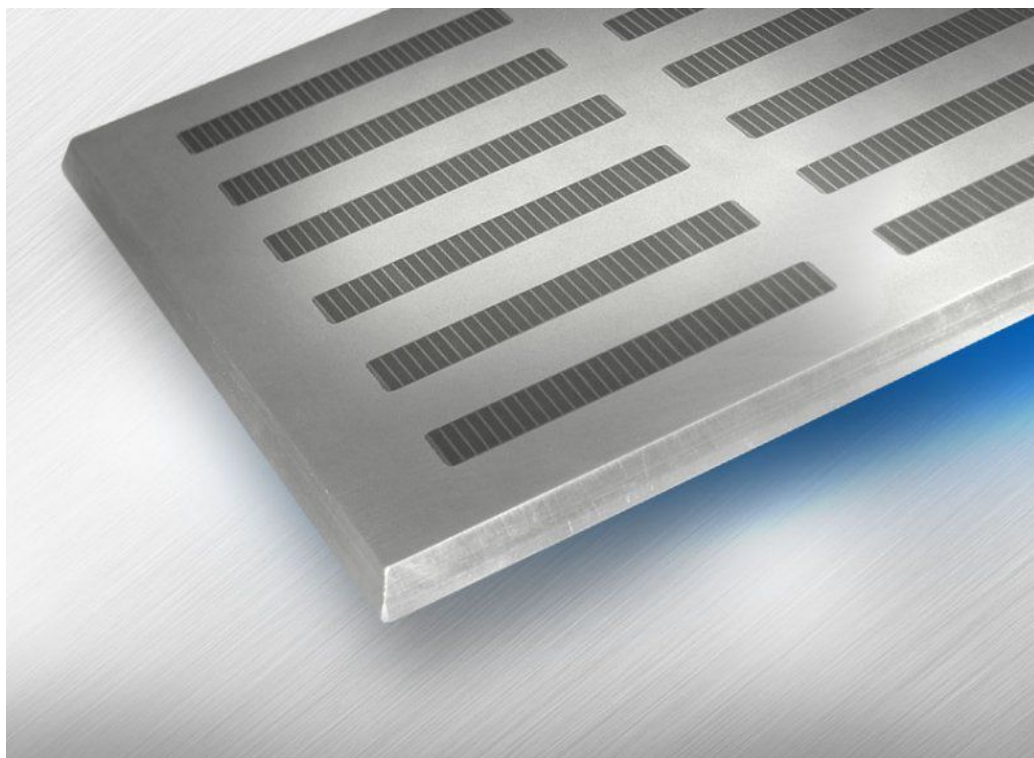
Pro dělení materiálu výsekovým nástrojem je zapotřebí pohonu v lineárním směru. Jedná se tedy o posuvný lineární pohyb nástroje. Pásové nože jsou ozubené (perforované) nebo neozubené a lze je ohýbat do jakéhokoli tvaru. Břit nože je kalený, odolný vůči opotřebení s vysokou životností, ale jádro nože je houževnaté, proto lze nůž ohnout s minimálním vnitřním rádiem cca 1 mm. Dále jsou na trhu nabízeny zkompletované výsekové nástroje pro pásový nůž, jak je vidět na obr. 8. Výhodou těchto nožů je, že jsou schopny dělit materiály o větší tloušťce.



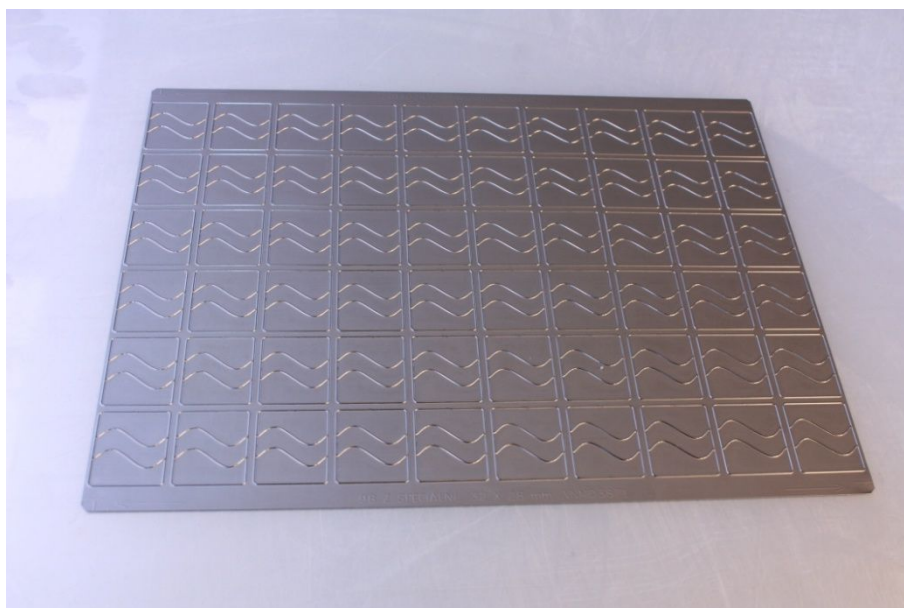
Obrázek 9: Výsekový nástroj s vloženými pásovými noži v různých tvarech, zdroj: [8]

2. Magnetická deska s výsekovým plechem

Systém dělení materiálu magnetickou deskou, na kterou se upevní stejný výsekový plech, jako lze připevnit na magnetický válec. Pohon magnetické desky je založen na stejném principu, jako výše zmíněný pohon výsekového nástroje s pásovým nožem. Břity výsekových plechů lze laserově kalit do různých hodnot tvrdosti pro jednotlivé požadavky, viz obr. 12. Jak uvádí společnost ESON CZ s.r.o., výsekové plechy jsou vhodné pro rotační, polorotační i ploché zařízení, jako je magnetická deska.



Obrázek 10: Magnetická deska, zdroj: [9]



Obrázek 11: Výsekový plech, zdroj: [10]



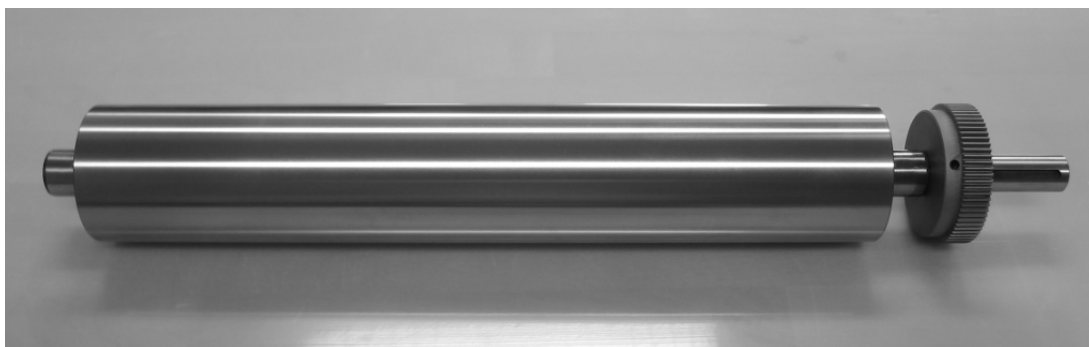
Obrázek 12: Hodnoty tvrdostí bříty, zdroj: [10]

3. Magnetický válec s výsekovým plechem

Dalším produktem na trhu, jak již bylo zmíněno v patentovém průzkumu, je magnetický a hladký protitlakový válec. Tato technologie dělení materiálu pojednává o dvou rotačních válcích přitlačovaných k sobě. Jeden z páru válců je magnetický a lze na jeho povrch připevňovat výsekové plechy. Druhý válec je přitlačný (protitlakový) s hladkým povrchem. Pás materiálu prochází mezi válci, kde dochází k jeho vystřížení nebo odstřížení.



Obrázek 13: Magnetický válec s nasazeným výsekovým plechem, zdroj: [vlastní]



Obrázek 14: Hladký protitlakový válec, zdroj: [vlastní]

2.5 Analýza inovačních příležitostí

Tato analýza vychází z korelační matice. Zjišťují se inovační příležitosti a kompetence firmy na základě projekcí do budoucnosti. Jelikož se jedná o projekt Technické univerzity v Liberci, která disponuje pouze omezenými výrobními prostředky, kompetence firmy nebudeme v korelační matici zohledňovat. Většina výrobků se nechá vyrobit zakázkou externě v jiných specializovaných firmách nebo se nakoupí přímo od výrobců.

V korelační matici (tab. 3) se přiřadí jednotlivým projekcím do budoucnosti příslušná váha od 1 – 10 bodů, kde 10 bodů znamená nejvyšší váha. Dále se přiřadí hodnoty korelací jednotlivých řádků a sloupců. Hodnoty mají váhy 0, 1, 3, 9, kde číslo 9 je nejvyšší korelační váha.

Tabulka 3: Korelační matice inovačních příležitostí

		Inovační příležitosti				
		Regulace přítlaku	Regulace rychlosti stříhu	Modulární konstrukce zařízení	Měření přítlaku (střížné síly)	Snadná výměna nástrojů, demontovatelnost
Projekce do budoucnosti	váha					
Stříhání různých tvarů	9	3	1	0	1	9
Možnost změny umístění modulu ve výrobní lince	7	1	0	9	1	0
Stříhání různých materiálů	4	9	3	0	3	9
Možnost optimálního nastavení střížné síly	6	9	0	0	9	1
Zrychlení výroby	4	1	9	3	3	9
		128	57	75	94	159

Z korelační tabulky vyplynuly dva nejváženější směry inovací. Nejlépe hodnocenou příležitostí je zaměření se na snadnou výměnu nástrojů pro různé tvary a demontovatelnost zařízení. Druhý směr poukazuje na možnost regulace přítlaku neboli střížné síly. Třetím významným směrem s nezanedbatelným hodnocením je možnost měření přítlaku.

3 Návrh konceptů

Další fází inovačního procesu je samotný návrh konceptů. Pomocí metod inovačního inženýrství byly v této kapitole vygenerovány celkem 4 koncepty. Čtvrtým navrženým konceptem bylo dělení krytů ran pomocí laserového paprsku, který byl v průběhu řešení zamítnut z výše uvedených důvodů v patentovém průzkumu. Proto v této kapitole zmíněný koncept není dále rozpracován. Vytváření konceptů bude rozděleno do těchto dílčích aktivit:

- Identifikace zákaznických potřeb
- Specifikace charakteristik výrobku pomocí metody QFD
- Kreativní generování konceptů pomocí Morfologické matice
- Samotné generování konceptů
- Hodnocení a výběr nejlepšího konceptu

3.1 Identifikace zákaznických potřeb

Prvotním ukazatelem pro tvorbu nového výrobku jsou požadavky a představy zákazníka. Proto je zapotřebí od zákazníka tyto zásadní informace získat, správně je interpretovat, uspořádat tyto potřeby do skupin, určit relativní význam těchto potřeb a zpětně je revidovat. Po konzultaci se zákazníkem a uživateli zařízení byly poznamenány tyto požadavky (tab. 4).

Tabulka 4: Zákaznické potřeby

Číslo	Potřeba	Relativní význam
1	Snadná obsluha zařízení, i nekvalifikovanými lidmi	5
2	Rychle a snadno změnit stříhaný tvar náplasti	10
3	Snadná výměna metráže	5
4	Kvalitní a čistý řez různých tvarů	10
5	Využití zařízení i v jiné výrobní lince	4
6	Stříhání plastových, látkových, papírových a jiných vláknitých materiálů	7
7	Rychle a snadno odmontovat z výrobní linky a opět namontovat	4
8	Využití zdrojů linky	3
9	Nastavování střížné síly a ukazatel její hodnoty	9
10	Zařízení pracuje spolehlivě bez nutnosti zásahu člověka	4
11	Malá šířka zařízení	7
12	Letmé uložení ke konstrukci linky	7
13	Odolnost vůči chlóru	10
14	Vysoká rychlost stříhání (1 ks/s)	7
15	Pevná (tuhá) konstrukce	9
16	Automatická regulace přítlaku	4
17	Odolné nástroje vůči opotřebení	7
18	Možnost paralelního stříhání dvou pásů materiálu	4
19	Kompaktní zařízení	5

3.2 QFD (Voice of Customer, VOC)

Nyní dochází k formulaci zákaznických potřeb. Je snahou z výše získaných informací přesně a měřitelně popsat, co musí výrobek obsahovat, umět, aj. Dominantním nástrojem pro tuto formulaci je metoda QFD. [3]

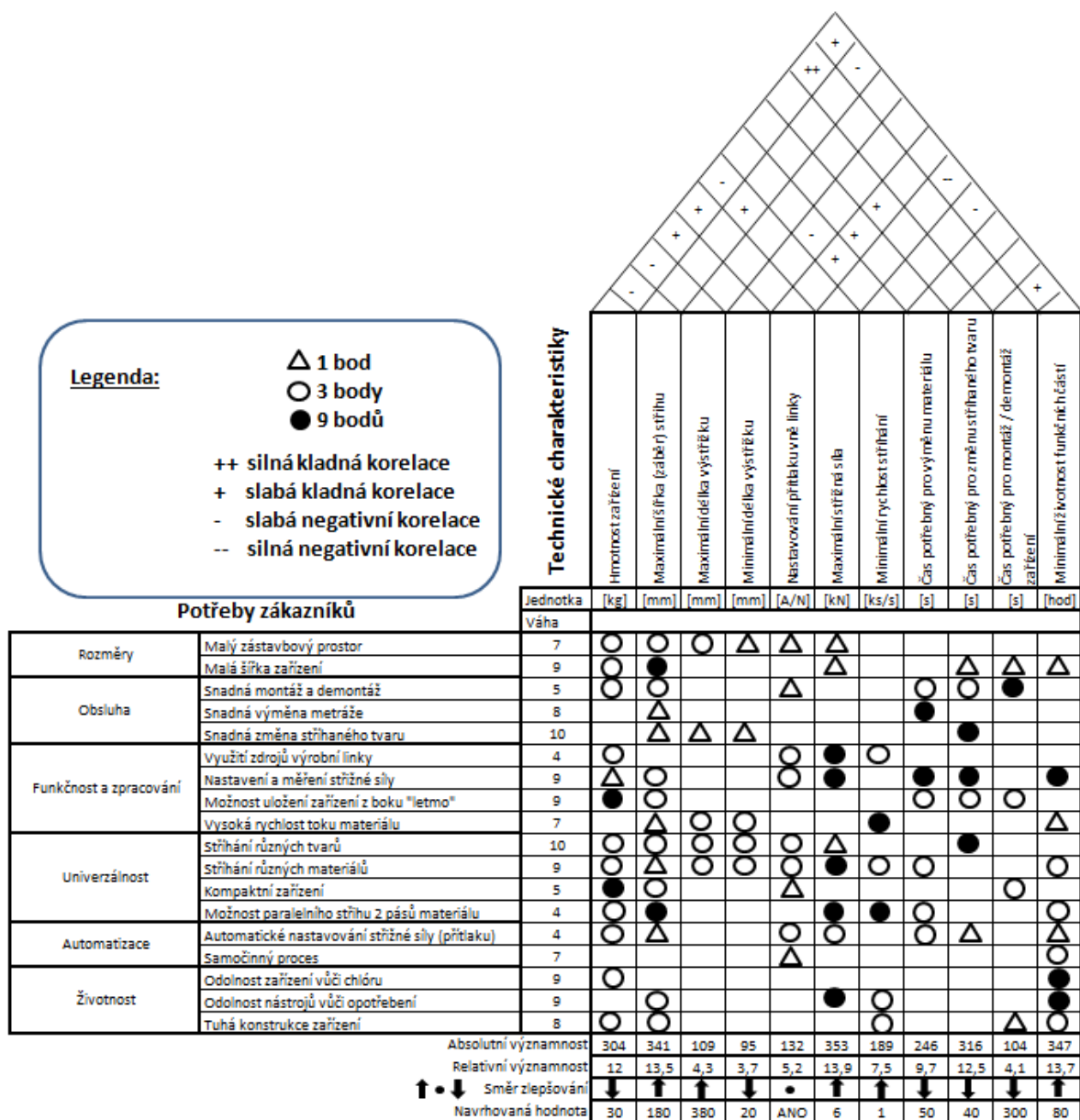
Metoda Quality Function Deployment, která zajišťuje zákazníkův hlas, byla vyvinuta v 70. letech v Japonsku. Jedná se o strukturovanou metodu, která slouží pro identifikaci zákaznických potřeb a jejich transformaci do charakteristik (parametrů) inovovaného produktu.

Jelikož zákazník je v tomto oboru kvalifikovaný s mnohaletou praxí, tak bylo poskytnuto 19 výše uvedených poměrně jasně definovaných potřeb, které dále byly rozděleny do dvou úrovní. Tento seznam tvoří horní (vodorovnou) část domu jakosti (obr. 15). Na tyto potřeby byly přímo navázány charakteristiky v měřitelných fyzikálních jednotkách. Následně vyhodnotíme vzájemné korelace mezi jednotlivými zákaznickými potřebami a charakteristikami produktu pomocí grafických symbolů a bodovací škály (0, 1, 3, 9 b.), viz legenda QFD. Pokud v políčku není žádný symbol, tak se mezi parametry nevyskytuje žádná souvislost.

Dále je zapotřebí vytvořit „střechu“ domu, která je tvořena trojúhelníkovou korelační maticí. Tato matice zachycuje vztahy mezi jednotlivými technickými charakteristikami finálního produktu. Hodnoty korelací jsou popsány v legendě QFD pomocí symbolů + a -.

V posledním kroku se provede hodnocení charakteristik. Vypočte se absolutní a relativní významnost. Čím vyšší hodnota významnosti je, tím více je zachycen hlas (požadavek) zákazníka daným parametrem.

Tabulka 5: Metoda QFD (House of Quality), zdroj: [vlastní]






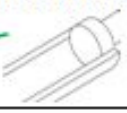


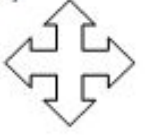













Z matice vyplynulo těchto 5 nejvýznamnějších parametrů, na které bude kladen důraz při konstrukci:

- Maximální střížná síla
- Minimální životnost funkčních částí
- Maximální šířka (záběru) stříhu
- Čas potřebný pro změnu stříhaného tvaru
- Hmotnost zařízení

3.3 Morfologická matice

Při syntéze již známých řešení a kreativních řešení kritických problémů se musí posoudit řešení dílčích problémů a vzájemně je zkombinovat. Jedna z kombinačních metod kreativního generování konceptu výrobku je Morfologická matice. V matici se uvedou na vertikální ose funkce a k nim se ve sloupcích přiřadí všechna možná řešení formou skici. Možnosti řešení se dále spojí a vznikají možné návrhy a koncepty. [11]

Tabulka 6: Morfologická matice, zdroj: [vlastní]

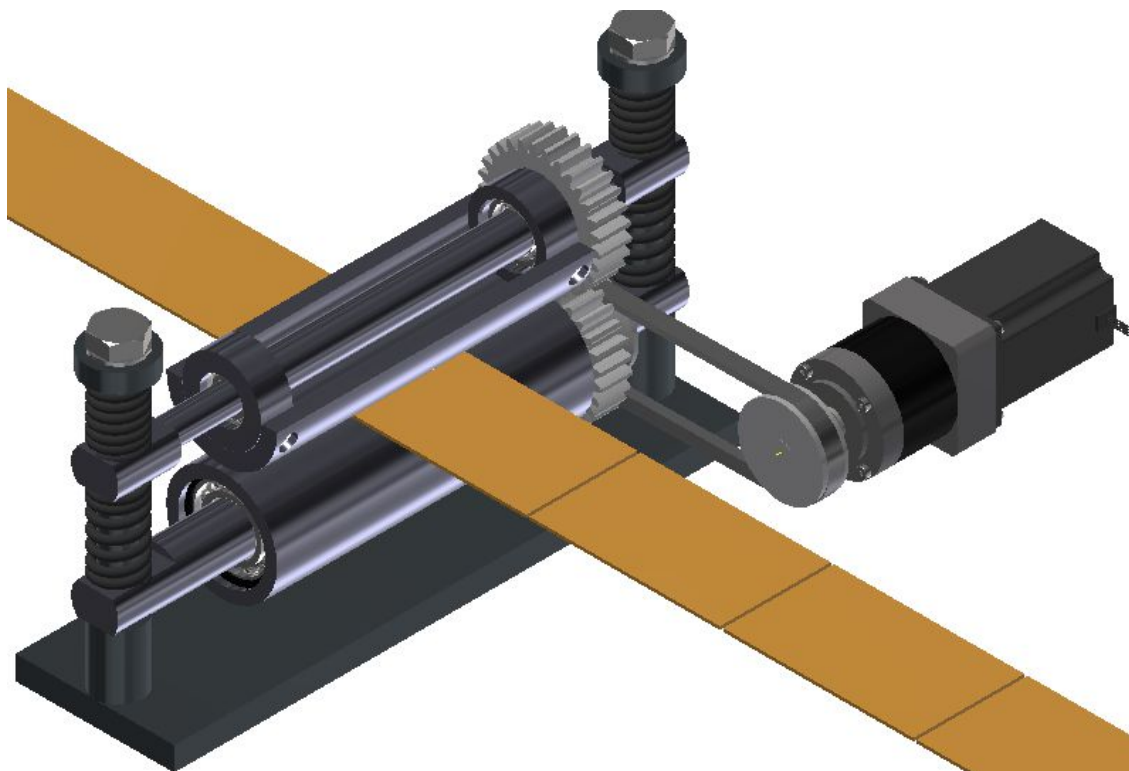
Funkce	Možnosti řešení			
Dělení materiálu	Nožem 	Výsekovým plechem 	Laserovým paprskem 	Výměnným povrchem válce 
Pohyb nástroje	Rotační 	Lineární 	Rovinný 	
Nastavování síly	Manuální 	Automatické 	NE	
Zdroj síly	Pružina 	Pneumaticky 	Hydraulicky 	Závít 
Zdroj pohybu nástrojů	NE	Elektrická energie 	Lidská energie 	
Uložení nástroje	Přišroubovat 	Magneticky 	Ve vodící drážce 	
Způsob stříhání	Ostří vůči ploše 	Ostří přes hranu 		

Po vzájemné kombinaci dílčích řešení funkcí výrobku v Morfologické matici se jeví následující 3 koncepty:

- Koncept A
- Koncept B
- Koncept C

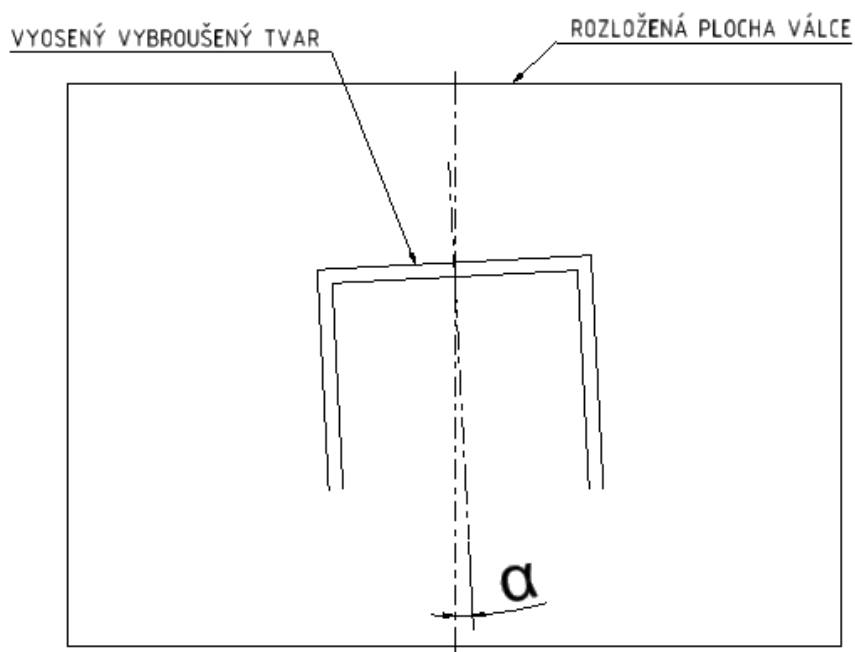
3.4 Koncept A

První navržený koncept na obr. 15 pojednává o 2 rotačních válcích přitlačovaných pružinami k sobě. K dělení materiálu dochází v kontaktním místě válců pomocí vybroušeného břitu na vrchním válci. Spodní válec je pevně ukotvený s hladkým povrchem. Vrchní válec je tvořen pouze z části jeho povrchu, na které je břit. Povrch je výměnný a snadno demontovatelný pomocí 6 šroubů. Regulace přitlaku je nastavována manuálně pomocí předepjatých tlačných pružin a šroubů. Pohon válců je řešen pomocí krokového motoru, převodovky a řemenového převodu. Sestava válců a elektromotor se dále připevní k základní nosné desce celkové výrobní linky.

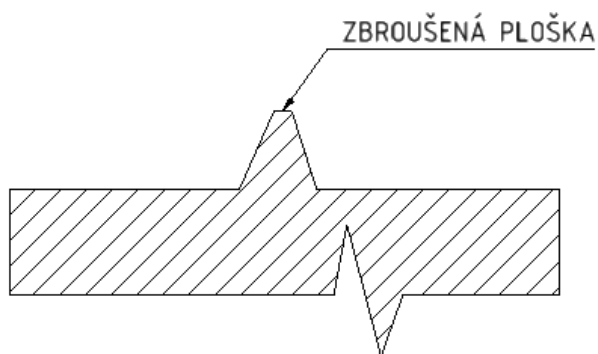


Obrázek 15: Rotační válce s výměnným povrchem, zdroj: [vlastní]

Vybroušený řezný tvar na povrchu válce je natočen o určitý úhel (obr. 16). Při odvalování povrchu spodního válce a břitů vrchního válce po sobě dochází ke smýkání, čímž se dosahuje efektivnějšího oddělení materiálu. Aby nedocházelo k rychlému opotřebení ostří, je špička břitu zabroušena a k oddělení materiálu dochází pomocí hrany břitu.



Obrázek 16: Vybroušený tvar natočený o určitý úhel, zdroj: vlastní

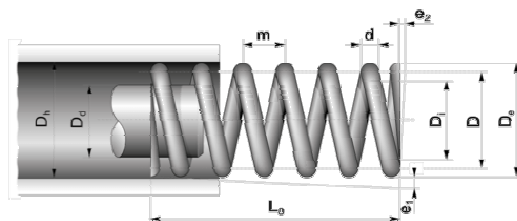


Obrázek 17: Zbroušená ploška ostří, zdroj: [vlastní]

Komponenty navržené sestavy válců jsou tvořeny z nerezové oceli třídy 17, dle ČSN včetně tlačné pružiny. Jelikož k dělení materiálu dochází částečně i pomocí smyku, je předpoklad, že přitlačná síla vyvolaná pružinami nebude muset být příliš vysoká. Například výrobce nerezových tlačných pružin[12] udává, že navržená pružina z nerezového drátu je schopna vyvinout sílu v plně zatíženém stavu 1252 [N] (obr. 18). Při zvolení tohoto konceptu

pro naše řešení by se nejprve muselo experimentálně ověřit, zda je vyvolaná síla danými pružinami dostačující.

TLAČNÉ PRUŽINY Z NEREZOVÉ OCELI



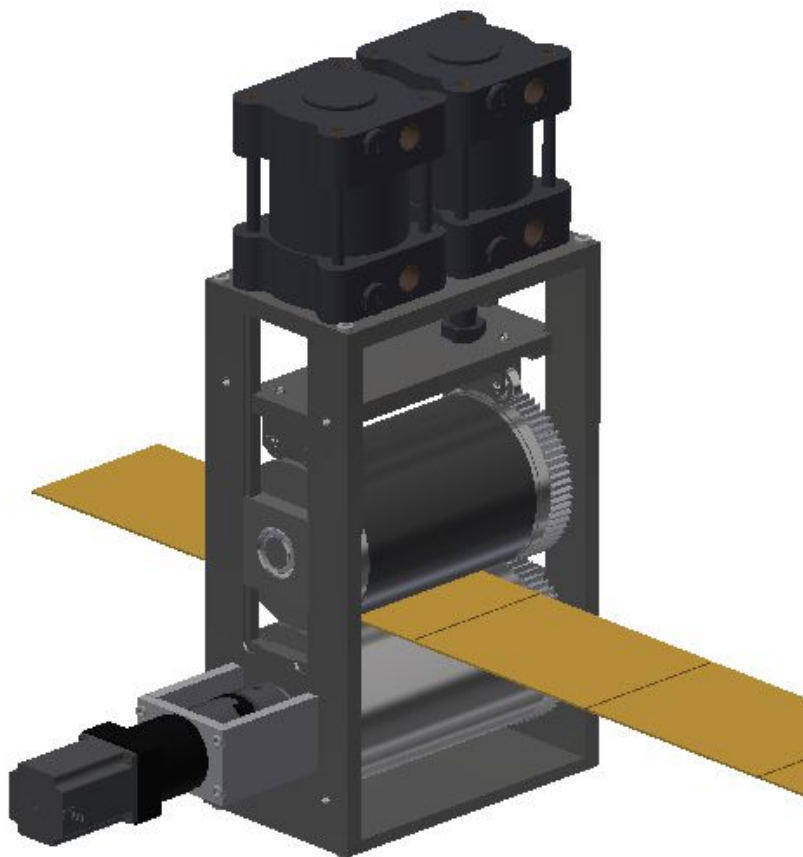
Popis produktu	Poptávka / Objednávka	-d- [mm]	-De- [mm]	-D- [mm]	-Di- [mm]	-Lo- [mm]	-n- [mm]	-Dd- [mm]	-Dh- [mm]	-R- [N/mm]	-sn- [mm]	-Ln- [mm]	-Fn- [N]
Tlačná pružina 90/1/1 - 1.4310 d=5,0 De=30,0 Lo=41,0	€²	5	30	25	20	41	3,5	19,5	30,8	100	11,4	29,6	1142,8
Tlačná pružina 90/1/2 - 1.4310 d=5,0 De=30,0 Lo=60,0	€²	5	30	25	20	60	5,5	19,5	30,8	63,64	19,7	40,3	1252

Obrázek 18: Parametry nerezové tlačné pružiny, zdroj:[12]

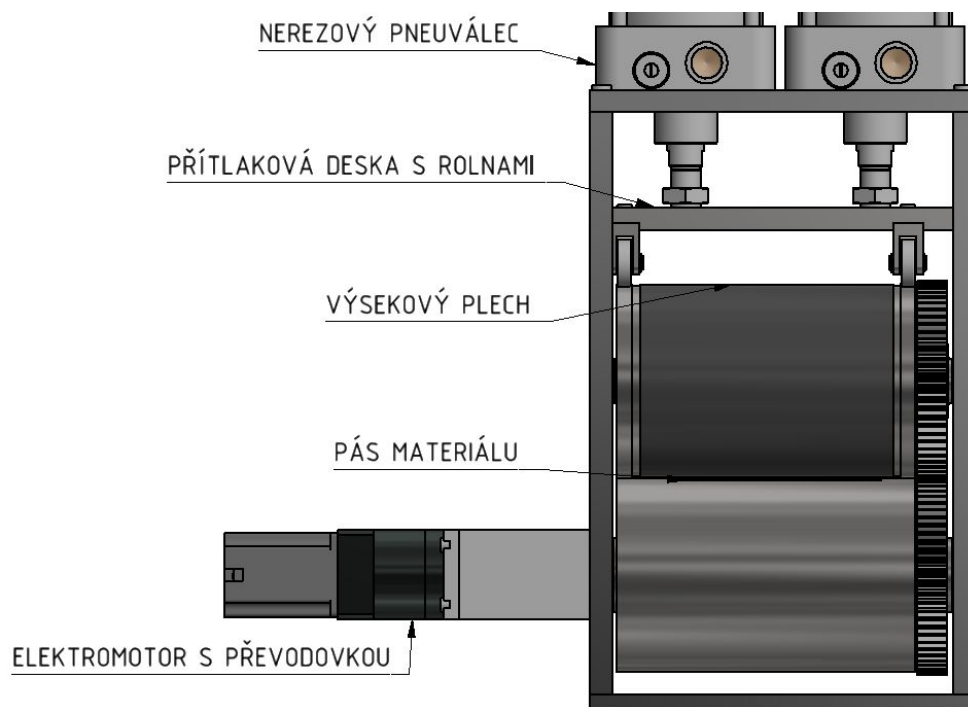
3.5 Koncept B

Další navržená varianta stříhání krytů ran na obrázku 19 spočívá opět ve využití páru rotačních nástrojů ve tvaru válců. Spodní válec je opět hladký a plní funkci přítlačového válce. Výraznou změnou oproti prvnímu navrženému konceptu je to, že vrchní válec je s magnetickým povrchem. Na tento magnetický povrch lze připevňovat takzvaný výsekový plech. Do výsekového plechu o tloušťce do 1 mm lze vybrousit téměř jakýkoliv požadovaný tvar pro dělení materiálu.

K oddělení materiálu dojde pomocí přitlačení břitu plechu magnetickým válcem k hladkému přítlačovému válci. Pro regulaci přítlaku byly navrženy nerezové pneumatické válce. Síla od pneumatických válců se k magnetickému válci přenese pomocí rolen, které jsou uloženy v přítlačné desce (viz obr. 20) a tlačí na odvalovací části válce. Válec s magnetickým povrchem je uložen v ložiskových domech s kluzným vedením. Spodní válec je přes hřídelovou spojku poháněn krokovým motorem s převodovkou. Kvůli dosažení stejné obvodové rychlosti válců jsou válce mezi sebou propojeny ozubeným převodem s čelními ozubenými koly.



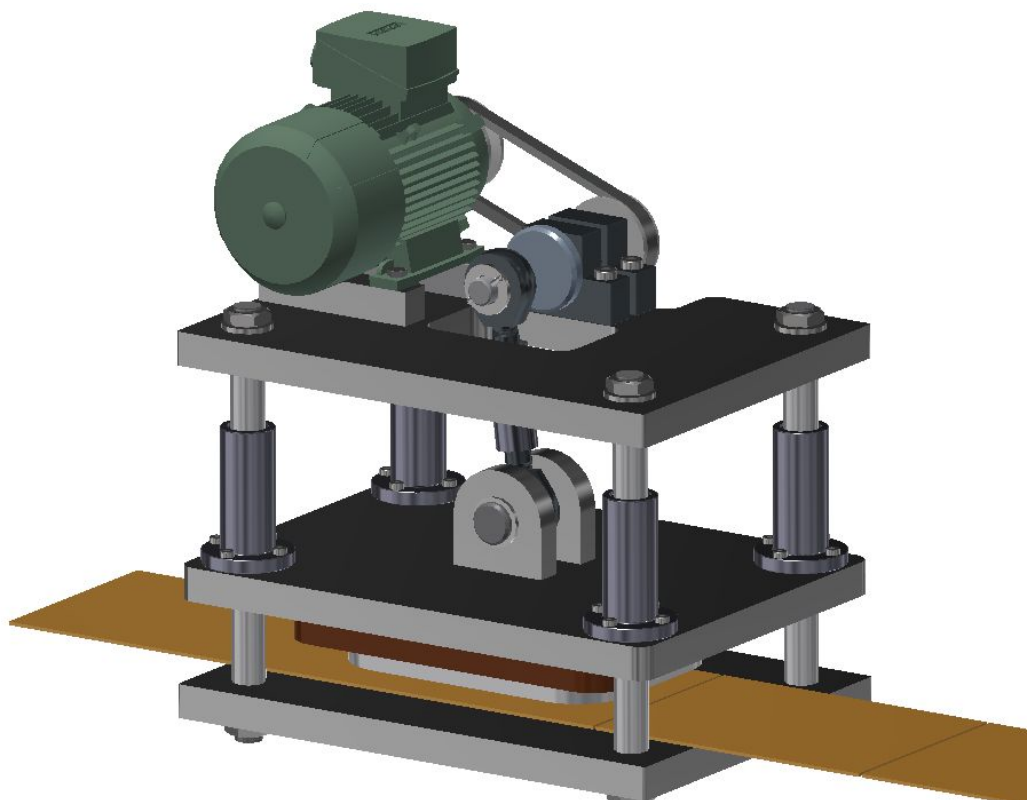
Obrázek 19: Rotační válce s výměnným výsekovým plechem, zdroj: [vlastní]



Obrázek 20: Detail řešení konceptu B, zdroj: [vlastní]

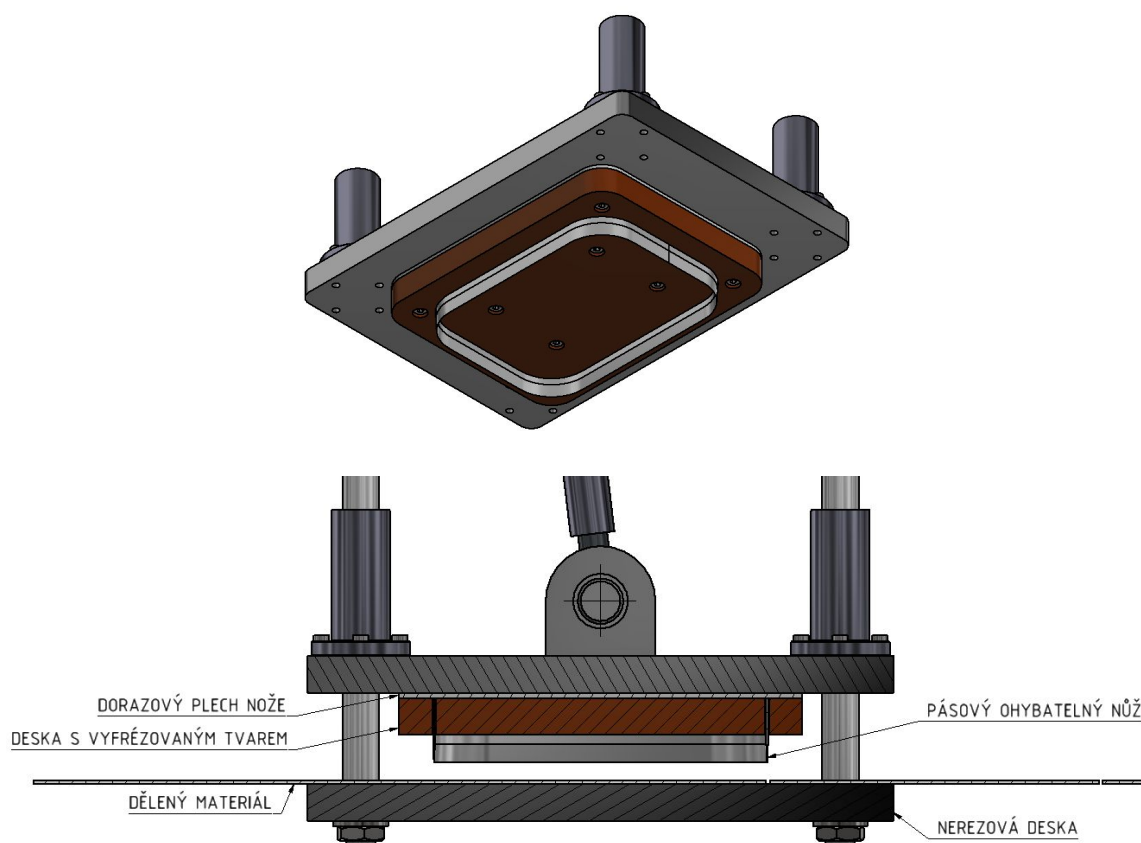
3.6 Koncept C

Třetím navrženým konceptem zobrazeným na obrázku 19 je stříhání krytů ran pomocí pásového ohybatelného nože. Tento princip dělení je znám jako lineární vysekávač. Nůž spolu s deskou, ve které je uložen, a dorazovým plechem tvoří tzv. výsekový nástroj, jak je uveden výše v kapitole 2.4.2 Průzkum trhu.



Obrázek 21: Lineární vysekávání materiálu, zdroj: [vlastní]

Celý výsekový nástroj na obr. 20 se připevňuje k vodící desce, která je vedena vodícími tyčemi. K posuvu výsekového nástroje je navržen klikový mechanismus, který je přes řemenový převod poháněn trojfázovým asynchronním elektromotorem.



Obrázek 22: Výsekový nástroj, zdroj: [vlastní]

Ve výsekovém nástroji je nůž uložen v desce, která je zpravidla z dřevěných materiálů, jako je dřevotříska apod. V desce je zhotovena drážka, do které se dle potřeby ohne a vloží nůž. Tyto nože z nástrojové oceli, uvedeny na obrázku 21, tvoří houževnaté jádro a tvrdý kalený povrch. Tvrdosti povrchu nože se pohybují od 54 do 66 ± 2 HRC. Díky houževnatému jádru jsou dobře tvarovatelné i na menší ploše. Výrobce těchto nožů [13] uvádí, že minimální vnitřní rádius ohybu nože je 0,5 mm.

K dělení materiálu dochází přitlačením břitu nože k nerezové desce, po které materiál prochází. U zařízení lze regulovat střížnou sílu nastavováním polohy nerezové desky. Pro aplikaci tohoto konceptu pro naše řešení je nejprve zapotřebí stanovit dostatečně vysokou střížnou rychlost a experimentálně ověřit, aby byl splněn požadavek plynulého chodu zařízení. Další možností pro splnění tohoto požadavku by bylo například využití jiného mechanismu než klikového. Například mechanismus konající oválný pohyb.

Nevýhodou tohoto řešení může být to, že nůž není nekonečný. Ve spoji konce a začátku nože může docházet k zadírání materiálu, zejména u vláknitých materiálů.

3.7 Zhodnocení a výběr konceptu

V této kapitole je popsáno hodnocení vygenerovaných dílčích konceptů

porovnáváním jednotlivých konceptů a výběrem jednoho pro další vývoj, zlepšování, testování a jiné optimalizace. K tomuto účelu se využívá široká škála metod s různými úrovněmi objektivitu a subjektivitu.

AHP (Analytic Hierarchy Process)

Pro výběr nejvhodnější varianty byla zvolena strukturovaná technika pro organizování a analýzu komplexních rozhodnutí založených na matematice a psychologii, která je nazývána zkratkou AHP. V současné době je to jedna z nepoužívanějších metod vícekritériálního rozhodování. Zvolený nástroj pomáhá posuzovatelům najít to, co nejlépe vyhovuje jejich cílům formou rozdělení složitých problémů na problémy menšího charakteru, přiřazením k nim příslušných kritérií a rozčlenění tak do hierarchií. Poskytuje komplexní a racionální rámec pro strukturování rozhodovacího problému. [14]

V první řadě je zapotřebí z definice problému a stanoveného cíle rozhodování stanovit soubor kritérií. Dále se vytvoří matice, ve kterých se párově porovnávají jednotlivá kritéria a poté jednotlivé varianty v daných kritériích. Dále se určí eigenvektory pro všechny vytvořené matice, které se počítají několikanásobnou iterací do té doby, dokud nebude rozdíl mezi jednotlivými kroky minimální. Metoda vytvoří vztah mezi kritérii a navrženými koncepty a dále určí takový koncept, který je nejlepším kompromisem ze všech stanovených kritérií.

Kritéria:

1. Snadnost změny vystřihovaného tvaru
2. Rychlost stříhání
3. Kvalita stříhu
4. Kompaktnost zařízení
5. Jednoduchost konstrukce

Koncepty:

- A. Rotační válce s výměnným povrchem

B. Rotační válce s magnetickým válcem a výsekovým plechem

C. Lineární vysekávání pomocí ohybatelného pásového nože

Tabulka 7: Hodnoty významností jednotlivých kritérií

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1	1	0,5	2	3
K2	1	1	0,5	2	2
K3	2	2	1	3	3
K4	0,5	0,5	0,33	1	2
K5	0,33	0,5	0,33	0,5	1

Snadnost změny vystřihovaného tvaru

Tabulka 8: Snadnost změny vystřihovaného tvaru

	Koncept A	Koncept B	Koncept C
Koncept A	1	0,33	1
Koncept B	3	1	2
Koncept C	1	0,5	1

Rychlost stříhání

Tabulka 9: Rychlost stříhání

	Koncept A	Koncept B	Koncept C
Koncept A	1	0,5	2
Koncept B	2	1	2
Koncept C	0,5	0,5	1

Kvalita střihu

Tabulka 10: Kvalita střihu

	Koncept A	Koncept B	Koncept C
Koncept A	1	1	3
Koncept B	1	1	3
Koncept C	0,33	0,33	1

Kompaktnost zařízení

Tabulka 11: Kompaktnost zařízení

	Koncept A	Koncept B	Koncept C
Koncept A	1	0,5	2
Koncept B	2	1	3
Koncept C	0,5	0,33	1

Jednoduchost konstrukce

Tabulka 12: Jednoduchost konstrukce

	Koncept A	Koncept B	Koncept C
Koncept A	1	1	2
Koncept B	1	1	2
Koncept C	0,5	0,5	1

Výpočet nejvhodnějšího konceptu

Roznásobením matice vektorů jednotlivých kritérií a matice vektoru kritérií získáme hodnotu nejlépe hodnoceného konceptu.

Tabulka 13: Výsledná matice vektorů jednotlivých kritérií + kritéria

	K1	K2	K3	K4	K5		Kritéria
A	0,256365	0,319148	0,392856	0,310721	0,374009	×	0,220281
B	0,467989	0,433524	0,392856	0,462257	0,374009		0,202964
C	0,275645	0,247328	0,214287	0,227022	0,251982		0,36404
							0,124773
							0,087941

	Koncept	Výsledný vektor
	A	0,335924
	B	0,424663
	C	0,239413

Dle analýzy AHP se jako nejlépe hodnocený koncept jeví koncept B s hodnotou 0,425. Výpočty byly provedeny v programu MS Excel.

Kontrola konzistence dat

Dále pro ověření správnosti metody byla provedena kontrola konzistence dat. V této kontrole je zapotřebí vypočítat konzistenční index CI pro každou matici

$$CI = \frac{\lambda_{max} - k}{k - 1}$$

kde λ jsou hodnoty největších vlastních čísel jednotlivých matic. Písmeno „k“ značí rozměr dané matice.

Hodnoty maximálních vlastních čísel jednotlivých matic

λ_k	Kritéria	5,0717
λ_1	Snadnost změny tvaru	3,0154
λ_2	Rychlost stříhání	3,0536
λ_3	Kvalita stříhu	2,9933
λ_4	Kompaktnost zařízení	3,0055
λ_5	Jednoduchost konstrukce	3

Výpočet koeficientů konzistence

$$CI_k = \frac{\lambda_k - 5}{5 - 1} = \frac{5,0717 - 5}{5 - 1} = 0,018$$

$$CI_1 = \frac{\lambda_1 - 3}{3 - 1} = \frac{3,0154 - 3}{3 - 1} = 0,008$$

$$CI_2 = \frac{\lambda_2 - 3}{3 - 1} = \frac{3,0536 - 3}{3 - 1} = 0,027$$

$$CI_3 = \frac{\lambda_3 - 3}{3 - 1} = \frac{2,9933 - 3}{3 - 1} = -0,003$$

$$CI_4 = \frac{\lambda_4 - 3}{3 - 1} = \frac{3,0055 - 3}{3 - 1} = 0,003$$

$$CI_5 = \frac{\lambda_5 - 3}{3 - 1} = \frac{3 - 3}{3 - 1} = 0$$

Podmínka platnosti konzistence: $CI < 0,1$. Z výše uvedených výpočtů plyne, že všechny matice jsou konzistentní a výpočet výběru konceptu byl proveden správně.

4 Rozpracování konečné varianty

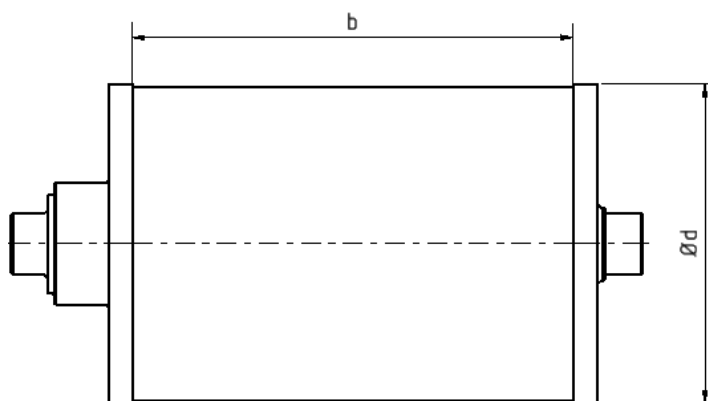
Jako nejvhodnější koncept pro stříhání krytů ran se jeví magnetický válec s výměnnými výsekovými plechy a hladký přítlačný válec. Koncept bude v této kapitole hlouběji rozpracován, budou navrženy jednotlivé komponenty výrobku a následně se provedou kontrolní výpočty konstrukčních prvků a popřípadě jejich optimalizace.

4.1 Návrh válců a ozubení

Základními parametry pro návrh rozměrů válců jsou maximální šířka pásu materiálu a maximální délka vystřiženého krytu:

- Délka krytu: 380 mm
- Šířka pásu materiálu: 150 mm

Výpočet průměrů válců



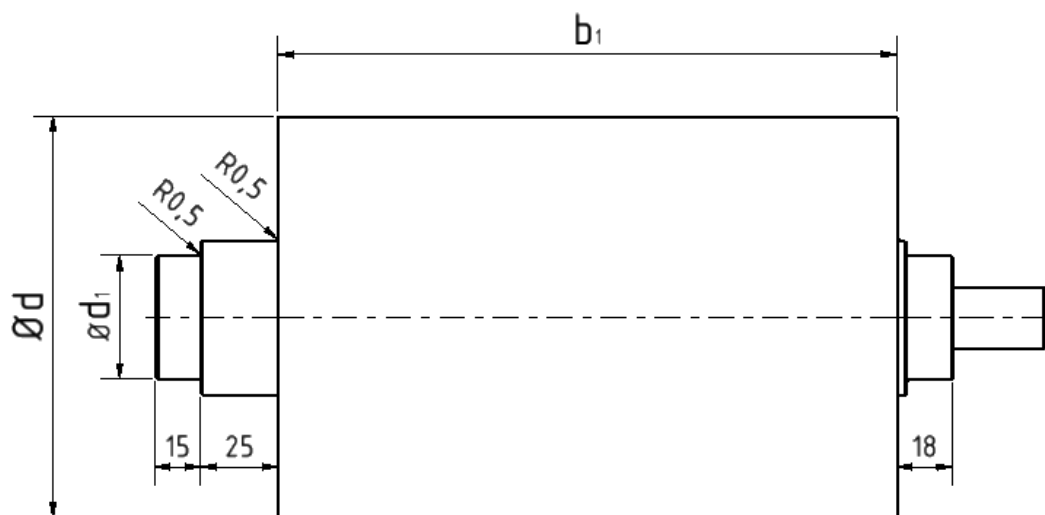
Obrázek 23: Základní rozměry mag. válce, zdroj: [vlastní]

$$o = \pi \cdot d \Rightarrow d \geq \frac{o}{\pi}$$

$$d \geq \frac{380}{\pi} = 120,96[mm]$$

Z výpočtu plyne, že minimální možný průměr válců je 120,96 mm, proto byl zvolen průměr válců 130 mm. Šířka plochy válce pro výsekový plech byla zvolena s rezervou na obou stranách od pásu materiálu 15 mm, šířka plochy je tedy navržena $b = 180$ mm.

Průměr spodního přítlačového válce byl zvolen stejný jako u magnetického válce. Šířka plochy $b_1 = 200$ mm, průměr hřídele pro ložiska $d_1 = 40$ mm.



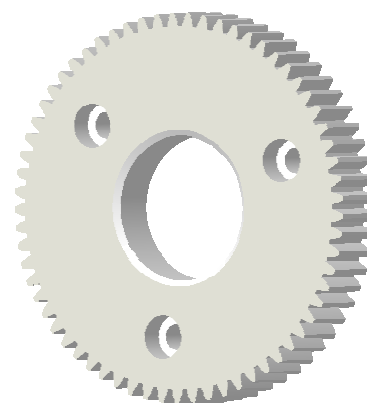
Obrázek 24: Rozměry přítlačového válce, zdroj: [vlastní]

Návrh ozubených kol

Pro přenos krouticího momentu mezi válci byla navržena čelní ozubená kola s přímým ozubením. Kontrolu ozubení lze zanedbat, jelikož dochází k přenosu malých krouticích momentů. [15]

Tabulka 14: Specifikace ozubení

Modul	m	2 mm
Počet zubů	z	65
Roztečná kružnice	d	130 mm
Hlavová kružnice	d _a	134 mm
Patní kružnice	d _f	125 mm
Šířka ozubení	b	20 mm
Úhel profilu (záběru)	α	20°



Obrázek 25: Čelní ozubené kolo, zdroj: [vlastní]

4.2 Návrh pneumatických válců

Pro přítlak magnetického válce k protitlakovému byly zvoleny pneumatické válce. Výhodou těchto válců je, že pomocí nich lze snadno regulovat přítlačnou sílu vně linky popř. i za chodu linky.

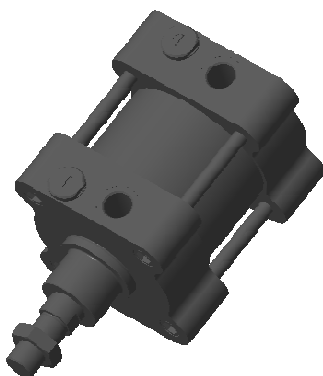
Válce musí splňovat požadavek zákazníka na odolnost vůči chemickým čistidlům a dezinfekcím, zejména chlóru. Zároveň válce musí být schopny vyvinout dostatečnou sílu

a svým zástavbovým prostorem by neměly výrazně ovlivnit rozměry výrobní linky. Výrobce [16] nabízí válce z nerezové oceli, které tyto požadavky splňují. Jedná se o válce dle norem CRDNG, ISO 15552.

Zdvih válce na obr. 27 byl zvolen 50 mm a průměr pístu 100 mm. Teoretická síla válce s tímto průměrem pístu činí 4712 N (viz obr. 26).

Síly [N]						
Ø pístu	32	40	50	63	80	100
teoretická síla při 6 barech, pohyb vpřed	482	753	1 178	1 870	3 015	4 712
teoretická síla při 6 barech, pohyb vzad	415	633	990	1 682	2 720	4 418

Obrázek 26: Tabulka hodnot síly pneuválce, zdroj: [16]



Obrázek 27: Pneumatický válec CRDNG, zdroj: [16]

4.3 Návrh a kontrola ložisek

Nejvíce namáhanými ložisky jsou valivá ložiska na protitlakovém válci a přítlakové rolny, které se odvalují po magnetickém válci a přitlačují ho k protitlakovému.

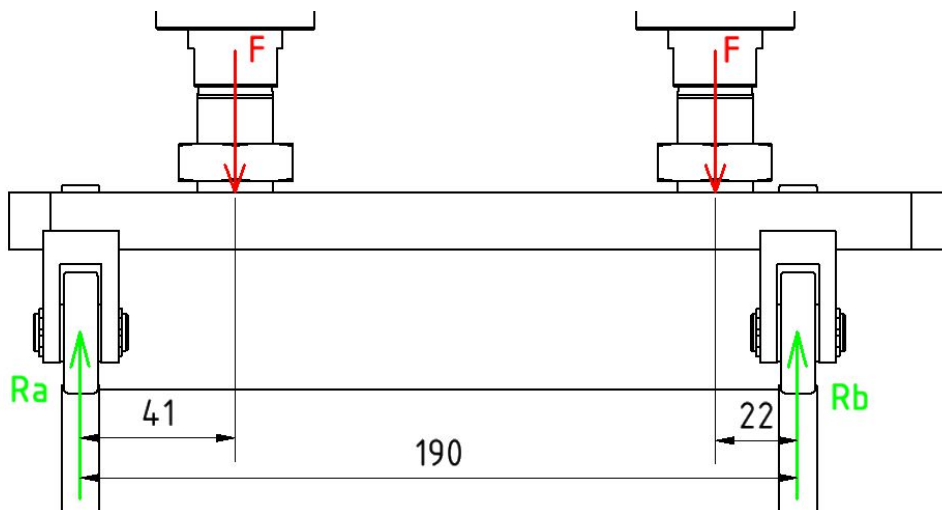
Jak je vidět na obrázku 28, nejprve se od pneu válců síly přenáší přes desku na rolny. Dále přes stykové odvalovací plochy na válcích až do spodního válce, kde je síla zachycena v ložiskách, ve kterých je spodní válec uložen (obr. 29).

Ložiska jsou kontrolována při působení maximální síly od pneumatických válců. Za běžného provozu válců nebude zapotřebí takto vysoké přitlačné síly.

Návrh ložisek (rolen) [17]

Rolny jsou navrženy s ohledem na šířku odvalovacích ploch válců, která je pouze 10 mm.

Výpočet reakcí v ložiskách



Obrázek 28: Reakce v ložiskách (rolnách), zdroj: [vlastní]

RR:

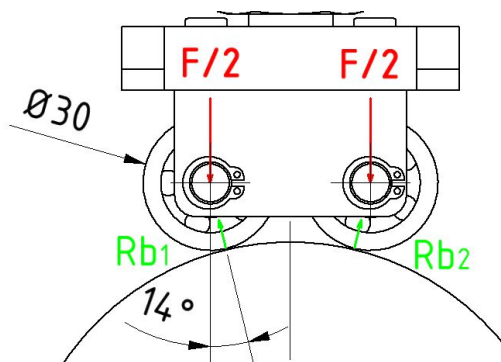
$$Y: R_a - 2 \cdot F + R_b = 0$$

$$M_a: -F \cdot 41 - F \cdot 168 + R_b \cdot 190 = 0$$

$$R_b = \frac{4712 \cdot 41 + 4712 \cdot 168}{190} = 5183,2 \text{ [N]}$$

$$R_a = 2 \cdot 4712 - 5183,2 = 4240,8 \text{ [N]}$$

Kontrola proběhne v místě b, kde působí větší síla.



Obrázek 29: Rozložení síly na rolnu v místě b, zdroj: [vlastní]

$$\frac{1}{2} \cdot Rb = \frac{F}{2} = 2591,6[N]$$

$$Rb_1 = Rb_2$$

$$Rb = \frac{F}{2} \cdot \cos(14^\circ) = 2591,6 \cdot \cos(14^\circ) = 2514,62 [N]$$

Výpočet otáček roln n_r

$$\text{Otáčky válce } n_v = 60 [ot \cdot min^{-1}]$$

$$\text{Poloměr válce } r_v = 65 [mm]$$

$$\text{Poloměr rolny } r_r = 15 [mm]$$

$$r_v \cdot n_v = r_r \cdot n_r$$

$$n_r = \frac{r_v \cdot n_v}{r_r} = \frac{65 \cdot 60}{15} = 260 [ot \cdot min^{-1}]$$

Rolny byly zvoleny s jednořadým kuličkovým ložiskem LR 200 NPP [18]

$$\text{Dynamická únosnost } C = 4200 [N]$$

$$\text{Statická únosnost } C_0 = 2650 [N]$$

$$\text{Otáčky rolny } n_r = 260 [ot \cdot min^{-1}]$$

$$P = \frac{F}{2} = 2591,55 [N]$$

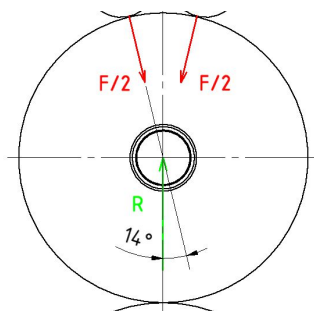
$$L_{hod} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_r} [hod]$$

$$L_{hod} = \left(\frac{4200}{2591,55}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 260} = 272,86 [hod]$$

Návrh ložisek protitlakového válce

Výpočet reakcí v ložiskách

Nejprve je zapotřebí vypočítat sílu působící od magnetického válce na protitlakový válec v místě odvalovacích ploch.



Obrázek 30: Síly působící od rolen na magnetický válec, zdroj: [vlastní]

Výpočet síly Fa

$$Ra = \frac{F_a}{2} \cdot \cos(14^\circ) = \frac{4240,8}{2} \cdot \cos(14^\circ) = 2057,42 \text{ [N]}$$

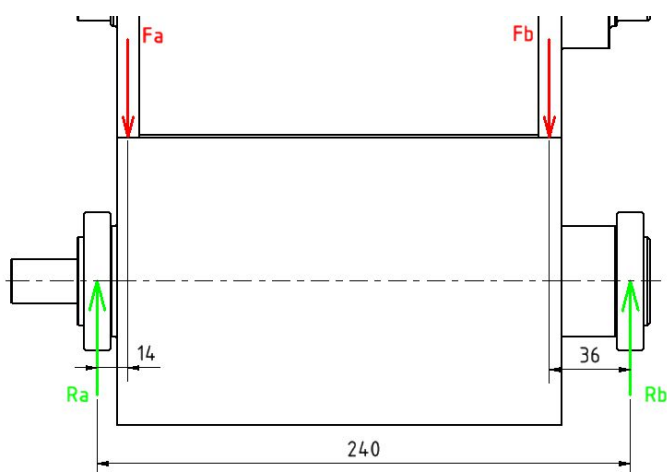
$$R_1 = 2 \cdot Ra \cdot \cos(14^\circ) = 3992,61 \text{ [N]}$$

$$Fa = R_1$$

Výpočet síly Fb

$$R_2 = 2 \cdot Rb \cdot \cos(14^\circ) = 2 \cdot 2514,62 \cdot \cos(14^\circ) = 4879,85 \text{ [N]}$$

$$Fb = R_2$$



Obrázek 31: Síly působící na protitlakový válec, zdroj: [vlastní]

Výpočet reakcí v ložiskách

RR:

$$Y: Ra - Fa - Fb + Rb = 0$$

$$Ma: -Fa \cdot 14 - Fb \cdot 204 + Rb \cdot 240 = 0$$

$$Rb = \frac{Fa \cdot 14 + Fb \cdot 204}{240} [N]$$

$$Rb = \frac{3992,61 \cdot 14 + 4879,85 \cdot 204}{240} = 4380,77 [N]$$

$$Ra = Fa + Fb - Rb [N]$$

$$Ra = 3992,61 + 4879,85 - 4380,77 = 4491,69 [N]$$

Na protitlakovém válci byla zvolena kuličková ložiska jednořadá 61908 ČSN 02 4630 [19]

Kontrola ložiska je provedena v místě „a“, kde je větší radiální zatížení.

$$\text{Dynamické zatížení } C = 13\,800 [N]$$

$$\text{Statické zatížení } C_0 = 10\,000 [N]$$

$$\text{Otáčky válce } n_v = 60 [ot \cdot min^{-1}]$$

$$P = F_{Ra} = 4491,69 [N]$$

$$L_{hod} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_r} [hod]$$

$$L_{hod} = \left(\frac{13800}{4491,69}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 60} = 8055,74 [hod]$$

Ověření správnosti výpočtu reakcí v ložiskách proběhlo i pomocí softwaru ANSYS Workbench 2016, kde reakce na válci vyšly následovně:

$$Ra = 4381,5 [N]$$

$$Rb = 4491 [N]$$

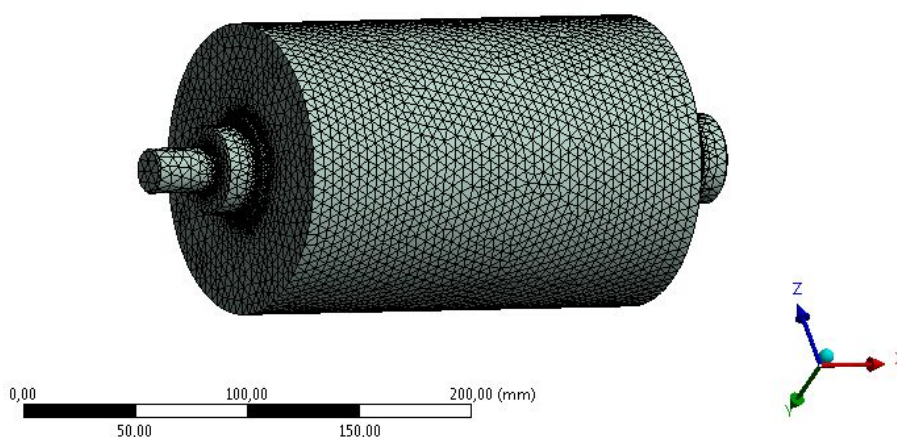
Z výsledků plyne, že výpočet byl proveden správně.

4.4 Výpočet průhybu válce

Dalším stěžejním problémem je průhyb přítlačového válce. Výchozím polotovarem válce pro výpočet je tlustostěnná nerezová trubka o průměru 130 mm a tloušťce stěny 20 mm. Výpočet průhybu proběhl v software ANSYS Workbench 2016, který je založen na metodě konečných prvků. V programu je nejprve zapotřebí nadefinovat materiálové vlastnosti [20], jako jsou pro nerezovou ocel za běžné pokojové teploty materiálu 20 °C:

- Youngův modul pružnosti $E = 200\,000\text{ MPa}$
- Poissonova konstanta $\mu = 0,3$

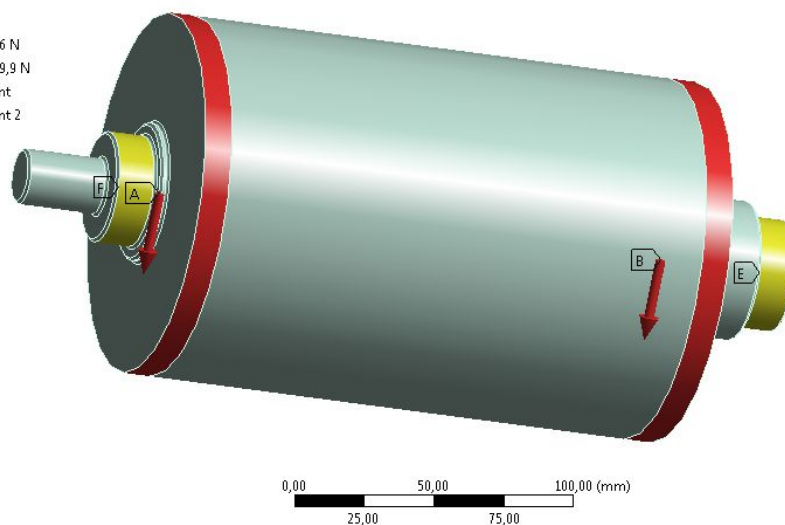
Dále je zapotřebí vygenerovat vhodnou síť součásti a stanovit okrajové podmínky.



Obrázek 32: Vygenerovaná síť konečných prvků, zdroj: [vlastní]

A: průhyb válce
Static Structural
Time: 1, s
7.5.2018 21:04

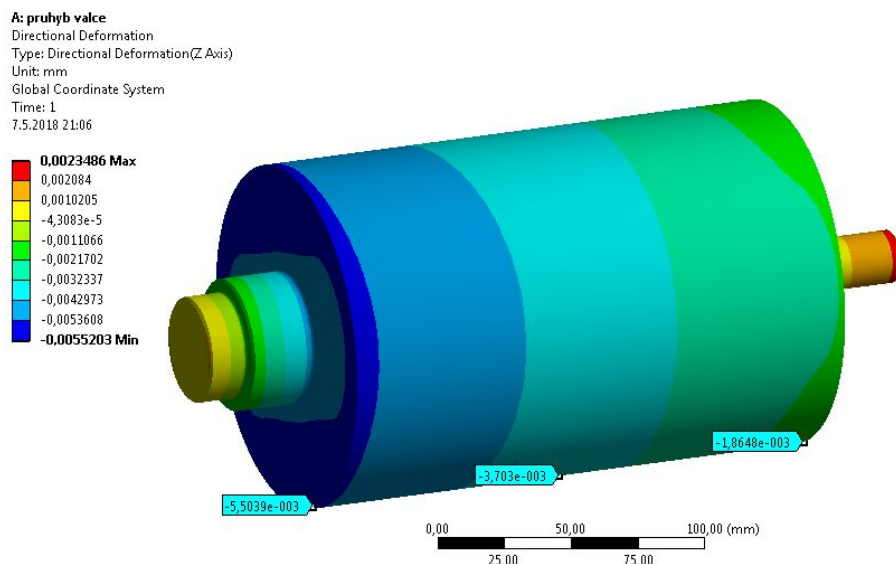
- A** Remote Force: 3992,6 N
- B** Remote Force 2: 4879,9 N
- E** Remote Displacement
- F** Remote Displacement 2



Obrázek 33: Okrajové podmínky na válci, zdroj: [vlastní]

Výsledky měření

Program byl nastaven, aby vypočítal deformaci, napětí a reakce v místech uložení válce. Námi hledaný průhyb válce v rovině ZX je dle programu roven hodnotě 0,0055 mm (viz obr. 34).



Obrázek 34: Průhyb válce, zdroj: [vlastní]

Z výsledků plyne, že průhyb válce při zatížení maximální silou, kterou jsou pneumatické válce schopny vyvinout, je 0,0055 mm. Po konzultaci se zástupcem společnosti ESON CZ s.r.o. panem Ing. Tomášem Šestákem se dospělo k závěru, že takový průhyb nijak neovlivní funkci válců a lze jej zanedbat.

4.5 Pevnostní kontrola válce

Výpočet ohybových momentů

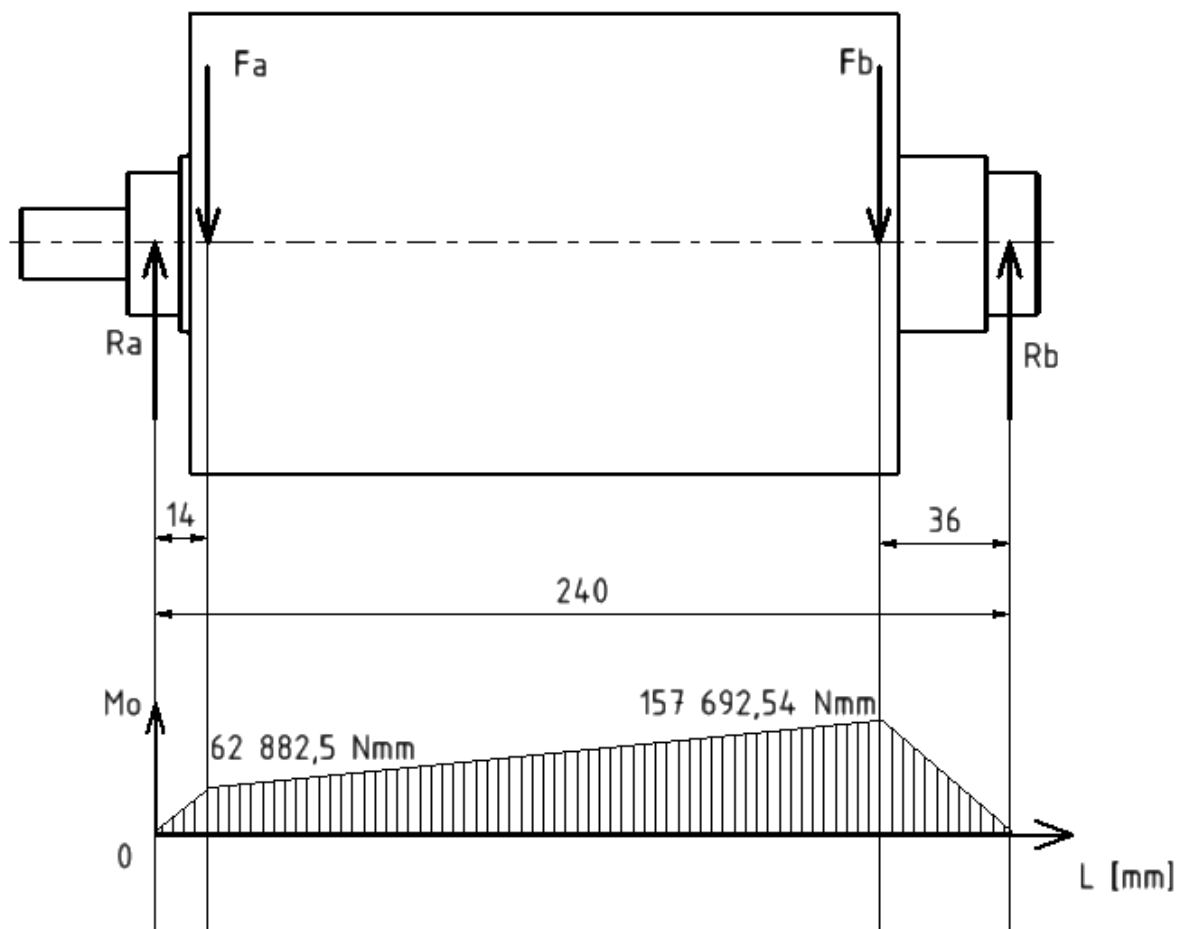
Reakce v místech uložení byly spočítány již při návrhu ložisek přítlačového válce. Jelikož je válec namáhán na ohyb, je zapotřebí stanovit průběh momentů na obr. 35.

VSÚ

Ohybové momenty:

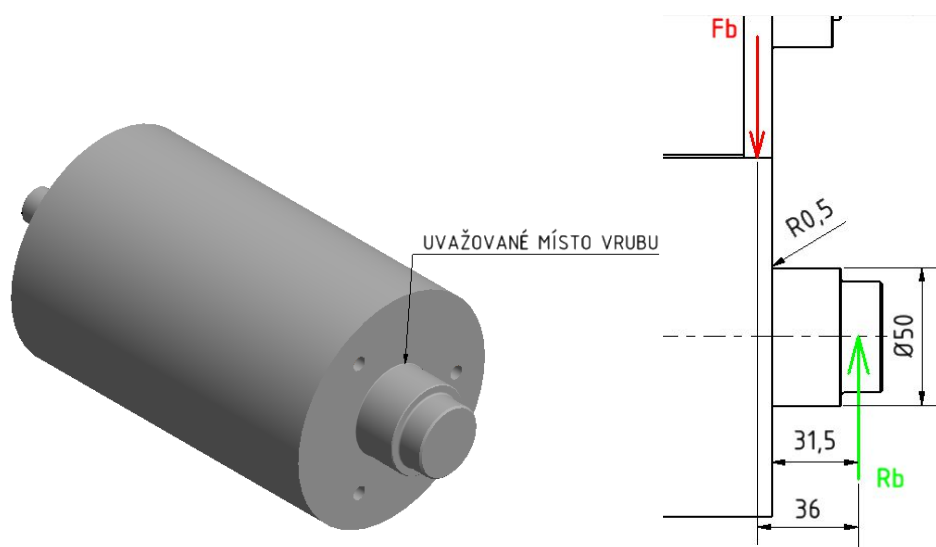
$$M_{oI} = R_a \cdot 14 = 4491,69 \cdot 14 = 62\,882,5 \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

$$M_{oII} = R_a \cdot 204 - F_a \cdot 190 = 4491,69 \cdot 204 - 3992,61 \cdot 190 = 157\,692,54 \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$



Obrázek 35: Průběh momentů na válci, zdroj: [vlastní]

V místě maximálního ohybového momentu je válec o průměru 130 mm. Tudíž je v tomto místě hodnota bezpečnosti vysoká. Nejbližší rizikové místo se nachází v místě osazení pro ozubené kolo, kde se musí uvažovat s vrubovou houževnatostí.



Obrázek 36: Vyznačení místa vrubu na válci, zdroj: [vlastní]

Tabulka 15: Součinitele a koeficienty pro nerezovou ocel [20]

Re	Mez pevnosti v kluzu	420 MPa
Rm	Mez pevnosti v tahu	640 MPa
σ_{OC}	Mez únavy materiálu pro ohyb	275 MPa
$M_{o_{max}}$	Maximální ohybový moment	157 692,54 Nmm
M_{o_v}	Ohybový moment v místě vrubu	137 994,26 Nmm
ε_m	Vrubový součinitel velikosti součásti	0,81
ε_p	Vrubový součinitel povrchu součásti	0,95
β	Vrubový součinitel skutečného zhuštění napětí	2,5

Napětí v ohybu v místě vrubu

$$\sigma_o = \frac{Mo}{Wo} = \frac{32 \cdot 137994,26}{\pi \cdot 50^3} = 11,24 \text{ [MPa]}$$

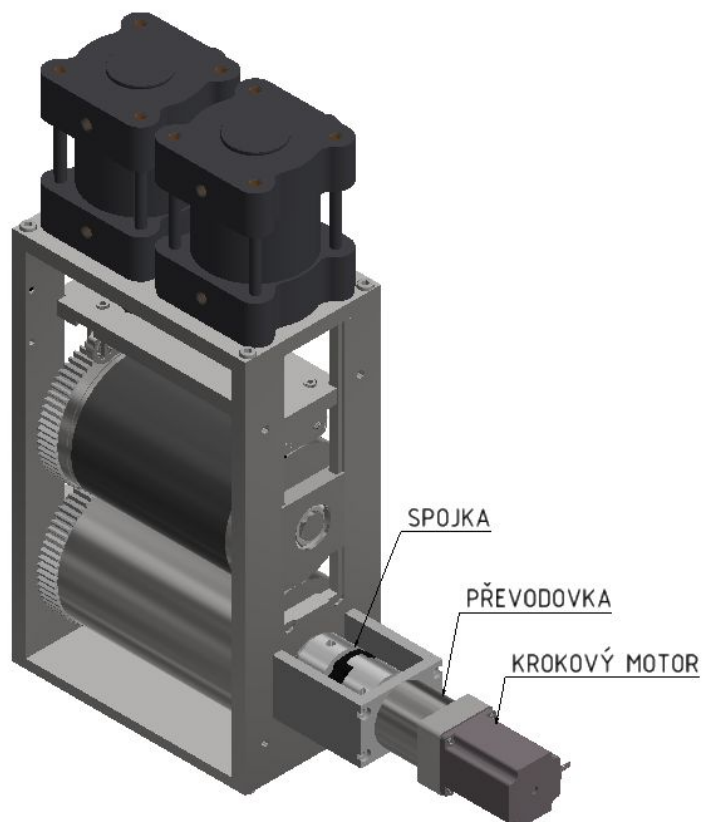
Mez únavy v ohybu

$$\sigma_{oc}^* = \sigma_{oc} \cdot \frac{\varepsilon_m \cdot \varepsilon_p}{\beta} = \frac{275 \cdot 0,81 \cdot 0,95}{2,5} = 68,82 \text{ [MPa]}$$

Bezpečnost

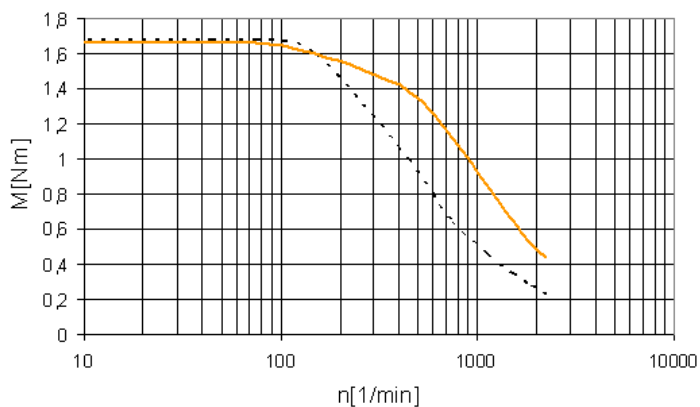
$$k_{\sigma_o} = \frac{\sigma_{oc}^*}{\sigma_o} = \frac{68,82}{11,24} = 6,12$$

4.6 Návrh pohonu válců



Obrázek 37: Pohled na pohonnou soustavu válců, zdroj: [vlastní]

Jelikož pro rotační pohyb válců není zapotřebí vysokých krouticích momentů, byl navržen elektrický krokový motor s označením NEMA 23[21], který je zobrazen na obrázku 38. Tento motor je vhodný pro naši aplikaci díky svým rozměrům, hmotnosti, přesnosti, se kterou pracuje, a snadnému ovládání.



Obrázek 38: Krokový motor NEMA 23, charakteristika motoru, zdroj: [21]

Motor je připevněn k planetární převodovce pro krokové motory s označením GEA-60-3-60-ST-063 [22], která redukuje otáčky převodovým poměrem 3 a zvyšuje krouticí moment motoru (viz obr. 39). Pro požadované otáčky 60 ot/min je tedy zapotřebí u elektromotoru 180 ot/min. Z charakteristiky motoru na obrázku 38 lze vyčíst, že samotný motor při těchto otáčkách má krouticí moment cca 1,6 Nm, který převodovkou bude navýšen.



Obrázek 39: Planetární převodovka pro krokové motory, zdroj: [22]

Krouticí moment od převodovky je na přítlačový válec přenášen pomocí třídílné spojky s označením OLDHAM typu OX57G s průchozím otvorem [23]. Nominální krouticí moment udávaný výrobcem spojky je roven 44 Nm, z čehož plyne, že spojka je schopna přenášet moment od krokového motoru s velikou rezervou. Tato spojka je schopna vyrovnávat axiální posunutí a zároveň radiální a úhlovou nesouosost. Pro námi požadované otáčky se jedná o bezvúlový převod. Spojka je složena ze dvou kovových nábojů a středu, který je vyroben z acetalu. Každý náboj je k hřídeli uložen svěrně pomocí šroubů.

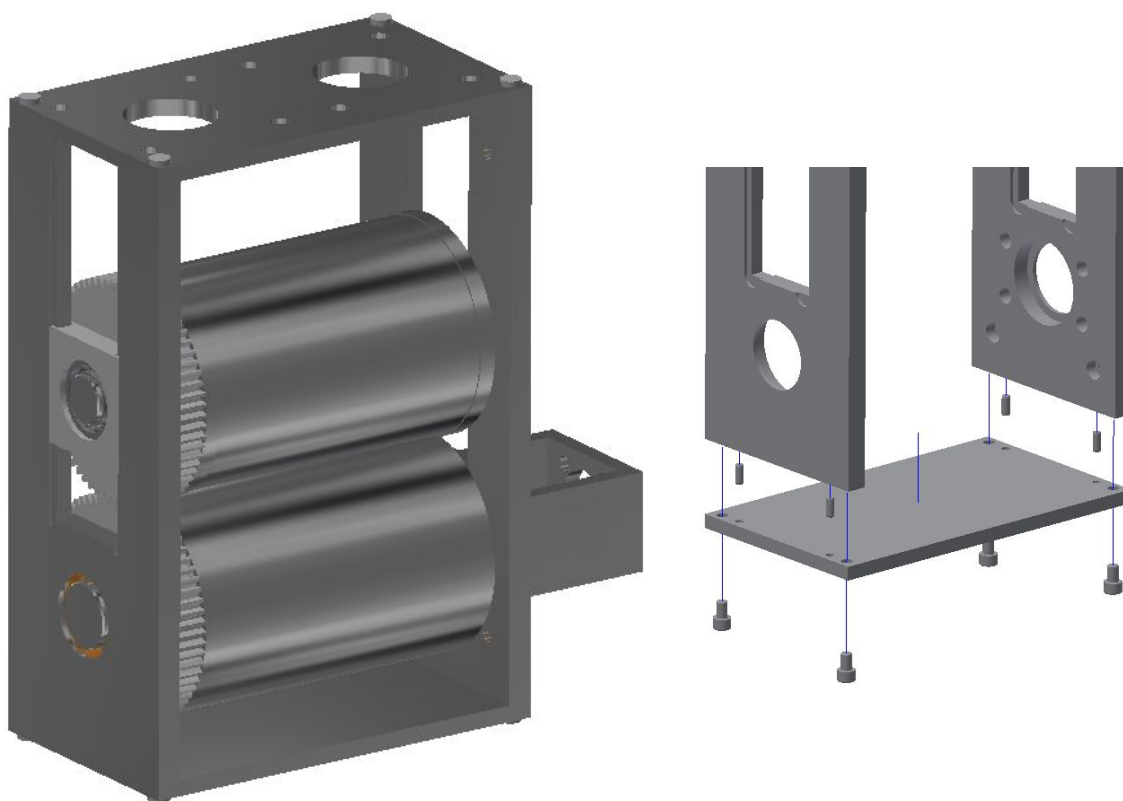


Obrázek 40: Spojka OLDHAM, zdroj:[23]

4.7 Návrh rámu

Důležitou částí stříhacího zařízení je samotný rám na obrázku 41. Rám válců bude připevněn letmo ke kotvicí desce výrobní linky pomocí šroubů. Musí být vyroben s vysokou přesností a zároveň je navržen tak, aby byl dostatečně tuhý a nedošlo ke zkosu a jinému osovému křížení válců a tím ke zhoršení kvality stříhu.

Rám je tvořen ze dvou bočnic, vrchní a spodní desky a úložných desek pro pohon válců. Přesnosti montáže je dosaženo pomocí středících kolíků mezi bočnicemi a deskami. Na bočnicích jsou vyfrézovány drážky pro pojezd ložiskových domků magnetického válce. Spodní přítlačový válec je v bočnicích uložen pevně bez možného posuvu. Desky rámu a ložiskový domek jsou tvořeny z nerezové oceli 1.4034.



Obrázek 41: Rám válců, zdroj: [vlastní]

4.7.1 Kontrola rámu

Výpočet statické deformace rámu byl proveden v software ANSYS Workbench 2016. Do programu se nejprve naimportovala geometrie modelu a nadefinovaly materiálové vlastnosti. Dále bylo zapotřebí stanovit typy kontaktů mezi jednotlivými díly a vygenerovat síť konečných prvků. V simulačním modelu je rám připevněn pomocí 4 šroubů M8 přes bočnici ke kotvici desce výrobní linky. Výpočty deformací byly provedeny jak totální (ve všech směrech), tak i pouze v jednom směru. Ovšem rozdíl mezi jednotlivými deformacemi byl minimální, proto jsou na obrázcích uvedeny pouze totální deformace.

Samotný výpočet byl rozdělen do 2 kroků. Nejprve se nadefinovalo předpětí ve šroubech, u kterého pro šroub o jmenovitém průměru M8 s pevnostní třídou pro nerezové šrouby 70 je předepsána orientační osová síla ve šroubu 12,6 kN. [24] Šroub byl předepjat pouze na 10 kN. Ve druhém kroku byl rám zatížen jeho samotnou gravitací, vahou válců v místě uložení ložisek a ve vrchní desce ještě vahou pneumatických válců (viz obr. 42).

A: tuhost válce

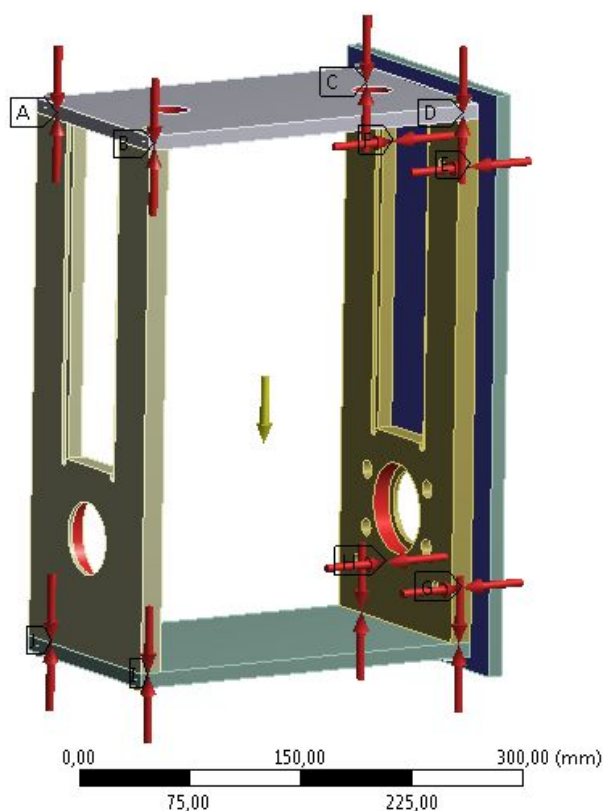
Static Structural

Time: 1, s

Items: 10 of 18 indicated

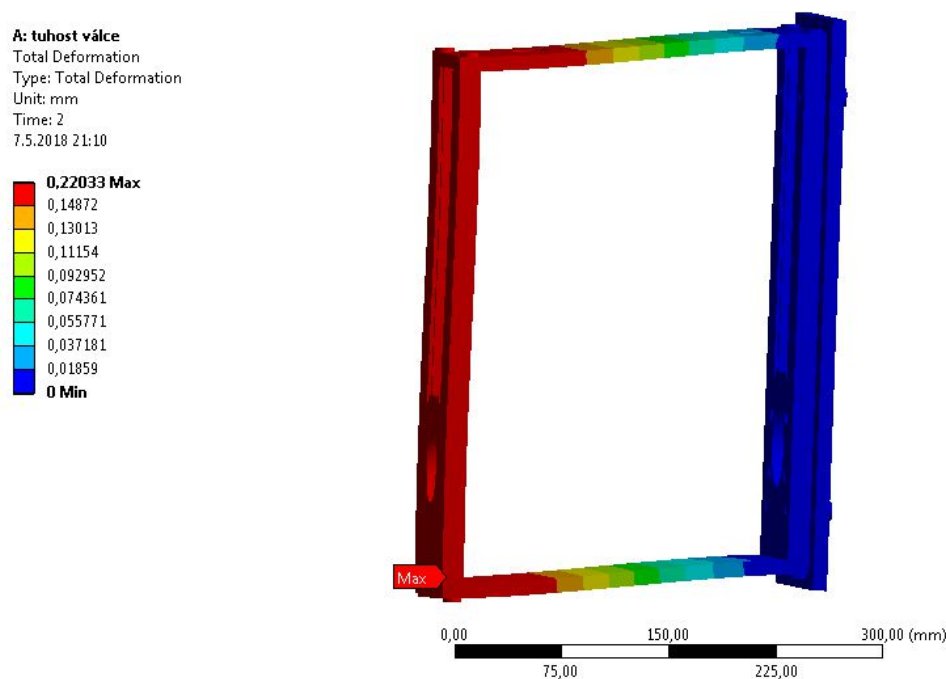
7.5.2018 21:08

- A** Bolt Pretension 1: 10000 N
- B** Bolt Pretension 2: 10000 N
- C** Bolt Pretension 3: 10000 N
- D** Bolt Pretension 4: 10000 N
- E** Bolt Pretension 5: 10000 N
- F** Bolt Pretension 6: 10000 N
- G** Bolt Pretension 7: 10000 N
- H** Bolt Pretension 8: 10000 N
- I** Bolt Pretension 9: 10000 N
- J** Bolt Pretension 10: 10000 N



Obrázek 42: Okrajové podmínky modelu rámu, zdroj: [vlastní]

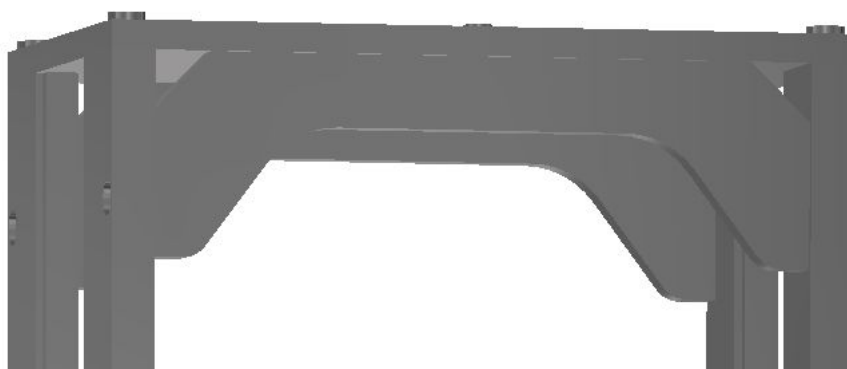
Na obrázku 43 lze vidět zdeformovaný rám se 120x zvětšeným měřítkem deformace. Červeně vyznačené oblasti na modelu znázorňují, kde je deformace rámu vyšší než 0,1 mm. V nejkritičtějších místě, které je na obrázku označeno odkazem „max“, je hodnota posuvu 0,22 mm. Takto navržený rám je zapotřebí optimalizovat s cílem dosáhnout vyšší tuhosti a hodnotám posuvu v modelovém prostředí menšímu než 0,05 mm.



Obrázek 43: Deformace zatíženého rámu, zdroj: [vlastní]

4.7.2 Optimalizace rámu

Rám byl vyztužen pomocí přidání výztužných žebër do horní části (viz obr. 44). Žebra jsou připevněna k bočnicím a vrchní desce pomocí šroubů.

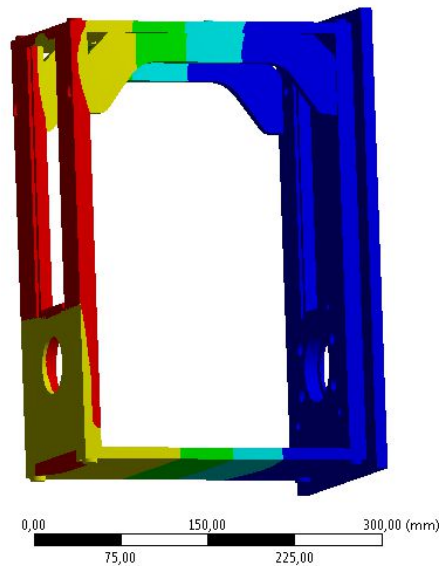


Obrázek 44: Výztužná žebra, zdroj: [vlastní]

Na obrázku 45 lze vidět, že přidáním žebër se dospělo k výrazně příznivějším hodnotám deformace.

A: tuhost rámu valcu zebra
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
7.5.2018 21:13

0,061123 Max
0,048899
0,036674
0,024449
0,012225
0 Min

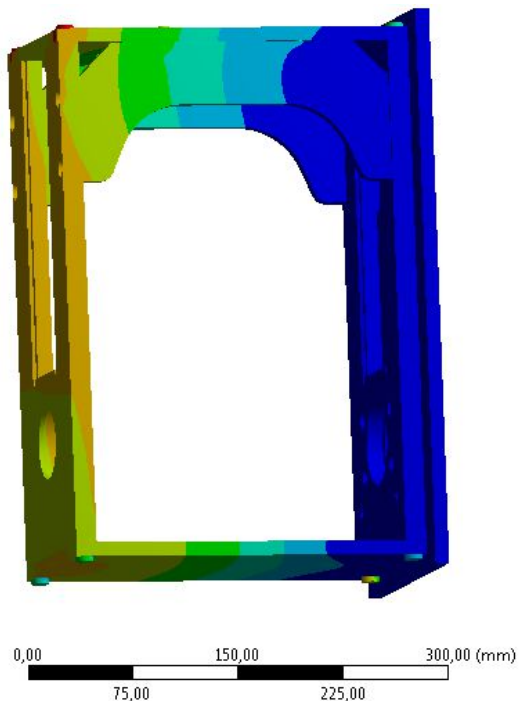


Obrázek 45: Deformace rámu s výztužnými žebry, zdroj: [vlastní]

Nicméně podmínka deformace $< 0,05$ mm stále není splněna. Proto bylo nutno žebra zvětšit a připevnit je k rámu pomocí více šroubů. Konečný výsledek je pak znázorněn na obrázku 46, kde je zřetelné, že díky výztuhám se dospělo k hodnotám deformace, která už nebude mít žádný nebo minimální vliv na funkčnost výrobku.

A: zebra optimalizovany
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 2
7.5.2018 21:16

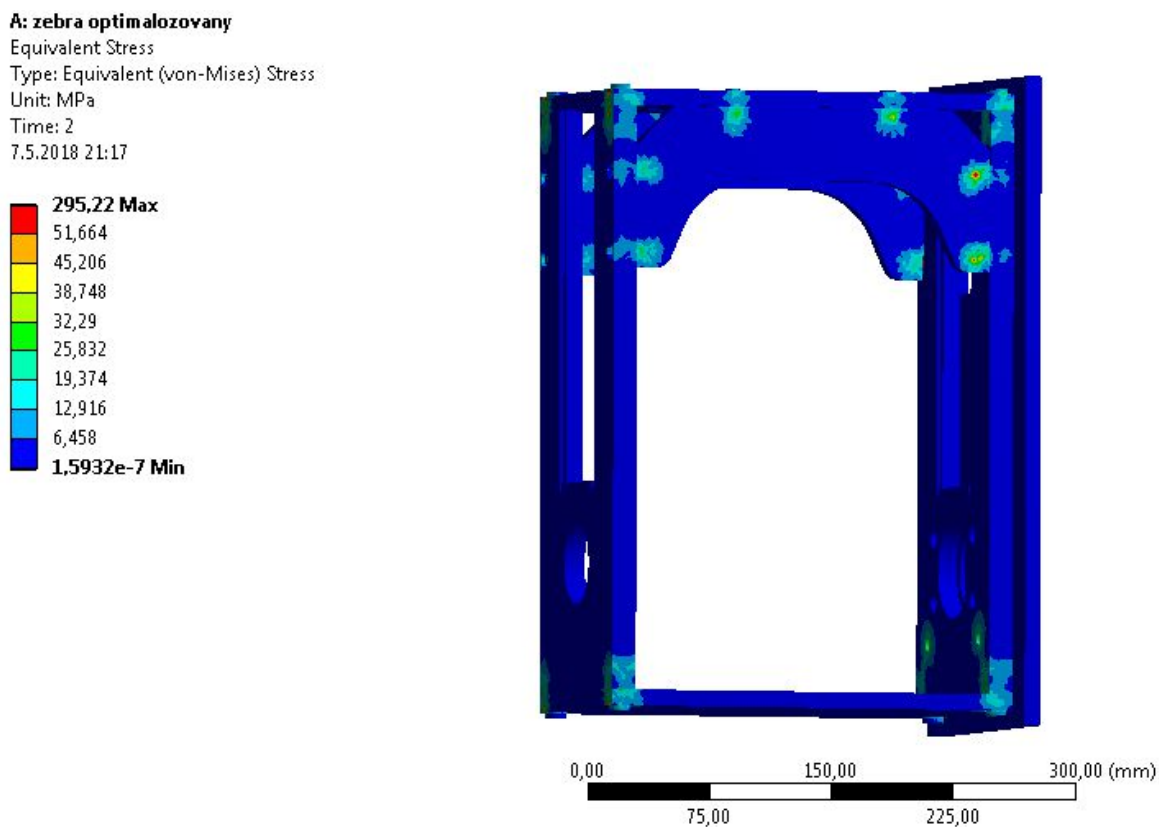
0,034985 Max
0,021319
0,017766
0,014213
0,010659
0,0071063
0,0035531
0 Min



Obrázek 46: Deformace rámu s upravenými výztužnými žebry, zdroj: [vlastní]

Optimalizací se dospělo ke snížení deformace z původních 0,22 mm na finálních 0,035 mm. Takto navržený rám splňuje tuhostní požadavky pro správnou funkci zařízení.

Spolu s deformační analýzou byla provedena i statická napjatostní analýza (viz obr. 47) optimalizovaného rámu, ze které lze vyčíst, že největší napětí je ve šroubech, které jsou předepjaty dle standardizovaných utahovacích momentů. V samotném rámu se nejvyšší hodnoty napětí vyskytují v místech šroubových spojů, jinak je rám namáhán minimálně.



Obrázek 47: Napjatostní analýza optimalizovaného rámu, zdroj: [vlastní]

S předepsanou mezí kluzu $R_e = 450$ MPa pro tyto nerezové šrouby a vypočteným tahovým napětím ve šroubu $\sigma = 295,2$ MPa je bezpečnost šroubu k :

$$k = \frac{\sigma_d}{\sigma} = \frac{450}{295,2} = 1,52$$

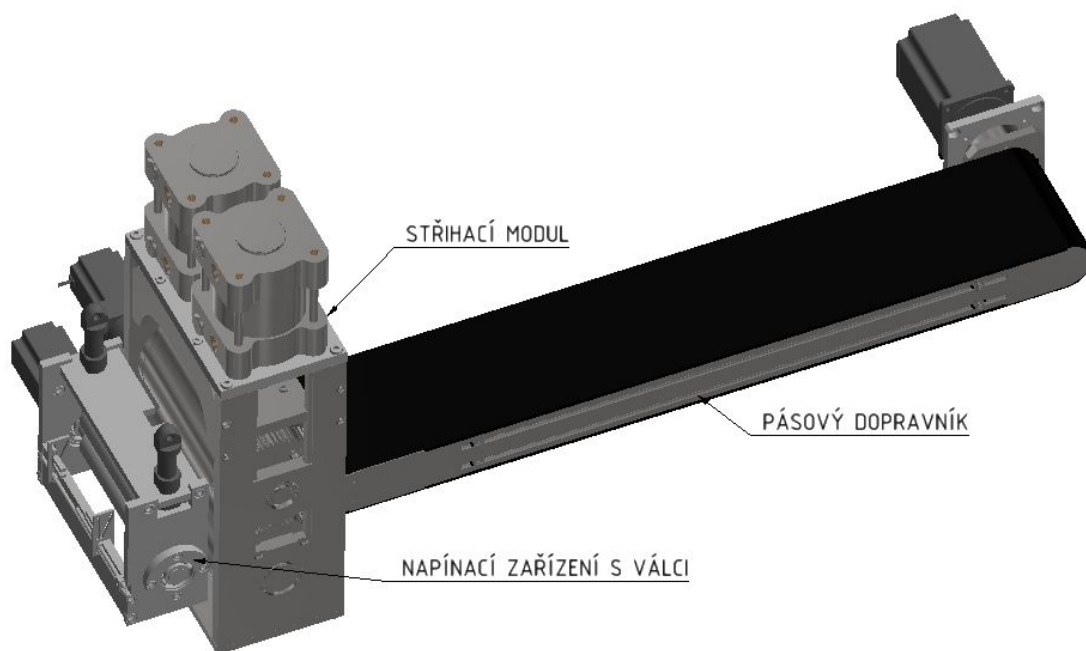
4.8 Výsledná konstrukce



Obrázek 48: Zobrazení výsledné konstrukce, zdroj: [vlastní]

Jelikož vysekávací válce nezajišťují funkci napínání pásu materiálu, bylo nutno před zařízení umístit napínací zařízení, které se skládá ze dvou napínacích válců. Vystřižený materiál je dále odkládán na dopravníkový pás s variabilní rychlostí, jak je uvedeno v zadání 200 – 1500 cm/min. Všechny uvedené komponenty jsou poháněny krokovými motory a jednou řídicí jednotkou, proto je snadné docílit stejného nastavení jejich rychlostí.

Problematika pásového dopravníku a napínacích válců byla vyřešena panem prof. Ing. Ladislavem Ševčíkem, CSc.



Obrázek 49: Stříhací zařízení s napínáním a pásovým dopravníkem, zdroj: [vlastní]

5 Zhodnocení inovace

Z původního řešení dělení náplastí se výše uvedeným inovačním procesem dospělo k novému konstrukčnímu řešení. Stávajícím řešením bylo stříhání krytů ran pomocí příčného pohyblivého nože vůči pevnému nerezovému stolu. Nůž je poháněn pomocí klikového mechanismu s lineárním vedením. Zařízení pracovalo s přerušovaným chodem a bylo možno vystříhovat pouze čtvercové či obdélníkové tvary.



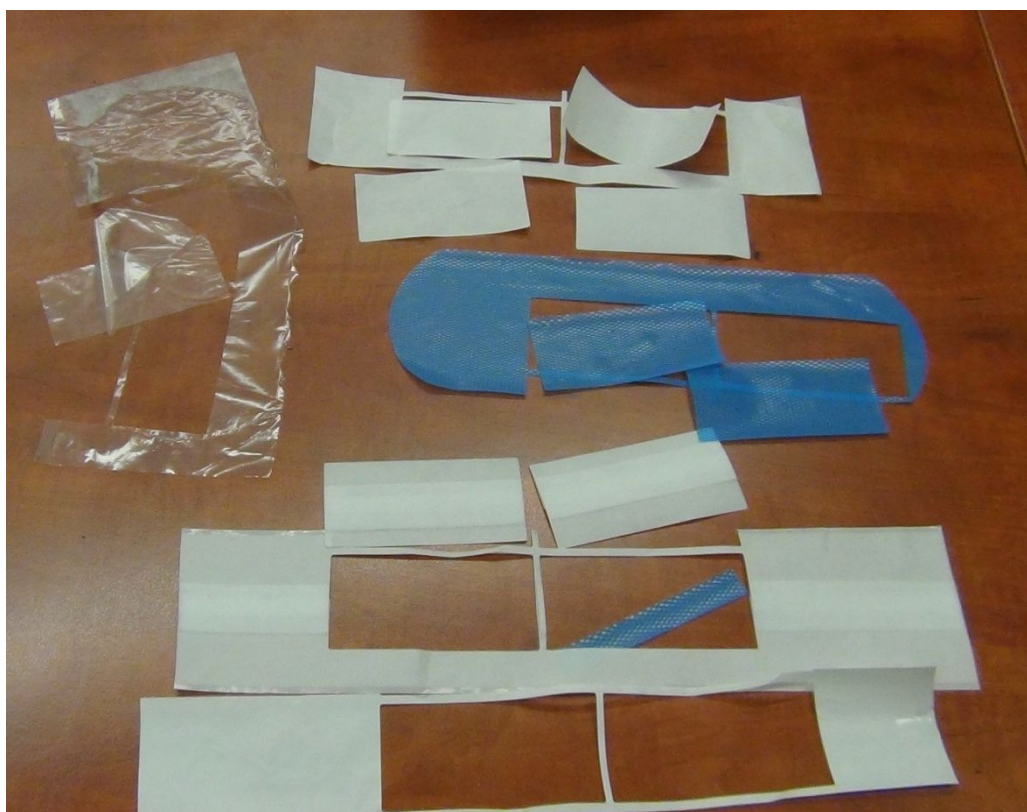
Obrázek 50: Vystřižená náplast stávajícím řešením, zdroj: [vlastní]

Inovací se dospělo k modulárnímu stříhacímu zařízení, které pracuje plynule bez přerušovaného chodu a je schopno vystříhovat libovolné tvary. Stříhacími nástroji jsou rotační válce, mezi kterými prochází pás materiálu. Jeden z válců je magnetický a na jeho povrch se umisťují výsekové plechy s požadovaným zhotoveným tvarem pro stříhání. Výměna výsekových plechů je snadná a rychlá. U zařízení lze libovolně regulovat rychlost otáčení válců, tedy stříhací rychlost a přítlačnou sílu vně výrobní linky.

Funkčnost nástrojů byla ověřena pro různé materiály, ze kterých se kryty ran skládají. Testování proběhlo na zkušebních válcích s výsekovým plechem zobrazených na obrázku 51, které vlastní společnost ESON CZ s.r.o. Výsledky vystřihovacího testu jsou zobrazeny na obrázku 52. Vystřížení vybraných materiálů proběhlo bez problému.



Obrázek 51: Zkušební zařízení společnosti ESON CZ s.r.o., zdroj: [vlastní]



Obrázek 52: Výsledek testu stříhu krytu ran a jednotlivých materiálů, ze kterých se kryty skládají (plast, papír, textilie, ...), zdroj: [vlastní]

6 Závěr

Cílem této práce byla inovace stříhacích nástrojů. Hlavním důvodem inovace bylo navrhnout takové nástroje, které budou schopny vystříhovat libovolné tvary krytů ran a zároveň nebude složitá a časově náročná změna vystříhovaného tvaru.

V prvním kroku inovačního procesu spolu s inovačním záměrem a prohlášením byl zhotoven plán inovace. Jako vodítkem byl harmonogram vytvořený v počítačovém programu MS Project. Po rozřazování jednotlivých činností spějících k dosažení cíle program vygeneroval Ganntův diagram, ze kterého lze jasně odečíst návaznost činností a stěžejní termíny, včetně data začátku a konce celého projektu, který byl naplánován na 25. 4. 2018. Takto navržený plán byl až na malé výjimky dodržen.

V úvodních částech plánu bylo zjišťování informací o problému. Proběhla specifikace stávajícího řešení a následně patentový průzkum spolu s průzkumem trhu. V průzkumech bylo nalezeno mnoho řešení zabývajících se podobnou problematikou, jako je dělení materiálů s různými tvary, celkem šest řešení bylo vybráno a popsáno jako nejvhodnější pro tento problém. Nalezená řešení převážně pojednávala o rotačních nástrojích, výsekových nástrojích a laserovém dělení materiálu, které, jak se později ukázalo, je pro danou problematiku nevhodné.

Dle zadaných parametrů a po zjištění dostatečného množství informací od zákazníka a z výše uvedených činností byl umožněn návrh konceptů. Pro generování konceptů byly použity inovační nástroje, jako je QFD (Voice of Customer, VOC) a Morfologická matice. Metoda QFD poskytla 5 nejvýznamnějších parametrů výrobku s ohledem na zákazníkův hlas. Na získané parametry byl v dalších krocích návrhu, zejména při konstrukci, kladen důraz. V Morfologické matici byla nastíněna dílčí řešení problémů. Vybraná řešení se spojila a následně z matice vyplynuly tři možné koncepty. Tyto tři koncepty vhodné pro dělení krytů ran s libovolnými tvary byly rozpracovány do stavu, ze kterého lze posuzovat a vzájemně porovnávat jejich vhodnost pro daný problém. Pro vzájemné posouzení a výběr nejvhodnějšího konceptu se využilo strukturované techniky pro organizování a analýzu komplexních rozhodnutí založených na matematice a psychologii, která je nazývána zkratkou AHP (Analytic Hierarchy Process). Z této analytické metody vyplynul vítězný koncept, který byl v dalším kroku rozpracován.

Vítězným konceptem bylo modulární zařízení s párem rotačních válců přitlačovaných k sobě, mezi kterými prochází pás materiálu. Vrchní válec je s magnetickým povrchem, na který se umísťuje výsekový plech s libovolným zhotoveným tvarem pro vystřihování, čímž byl splněn hlavní parametr zadání. Spodní válec je s hladkým povrchem a slouží jako protitlakový válec vrchnímu magnetickému válci. Součástí návrhu vítězného konceptu byly i pevnostní a životnostní výpočty stěžejních funkčních součástí.

Návrhem válců s ohledem na požadované vystřižené rozměry krytů ran, které jsou uvedeny v kapitole Cíl práce, se dospělo k průměru válců 130 mm a pracovní šířce válců 180 mm. S takto navrženou pracovní šíří válců se dodržel i požadavek na tok pásu materiálu vzdáleného od základní desky linky 45 mm. Na magnetický válec lze připevnit výsekový plech, na který lze zhotovit všechny požadované vystřihované rozměry.

Pro generaci přitlačné síly byly navrženy nerezové pneumatické válce CRDNG od firmy FESTO. Přitlačná síla od pneumatických válců je na magnetický válec přenášena pomocí 4 rolen. Životnost ložisek a rolen byla navrhována za působení maximální síly od pneumatických válců. Jelikož se jedná o velmi malé stykové plochy ostří výsekového plechu s hladkým přitlakovým válcem, za běžných provozních podmínek nebude zapotřebí takto vysoké přitlačné síly. Sílu bude nutno stanovit v průběhu činnosti a u jednotlivých dělených materiálů se může lišit.

Pevnostní kontrolou namáhaného protitlakového válce se dospělo k bezpečnosti $k = 6,12$ a jeho průhybu 0,0055 mm. Takto navržený válec splňuje bezpečnostní a funkční požadavky. Kontrola byl podroben i rám válců konstruovaný pro letmé uložení k základní desce výrobní linky. Optimalizací výztuh rámu se dospělo ke snížení deformace z původních 0,22 mm na finálních 0,035 mm. Takto navržený rám splňuje tuhostní požadavky pro správnou funkci zařízení.

Jako pohon vystřihovacích válců, napínacích válců a pásového dopravníku byly navrženy krokové motory NEMA s planetární převodovkou pro krokové motory. Pro oba páry válců byly zvoleny výkonové řady motorů 23 a pro pásový dopravník byla zvolena řada 34. Navržené motory splňují zadaný parametr pro rychlost stříhání 1 ks/s navíc s možností regulace otáček, které pokryjí požadovaný rozsah rychlosti pásu dopravníku 200–1500 cm/min.

Ze zadaných parametrů uvedených v úvodní kapitole práce (Tabulka 1) byly splněny všechny stanovené požadavky. Maximální šíře pásu materiálu byla dodržena a maximální možná délka vystřihovaného tvaru byla z požadovaných 380 mm navýšena na cca 405 mm. Konstrukce zařízení je navržena tak, aby pás stříhaného materiálu byl ve vzdálenosti 45 mm od základní desky výrobní linky. Jak již bylo zmíněno výše v této kapitole, zařízení je schopno pracovat v požadovaném rozsahu stříhací rychlosti s možností stříhu libovolných tvarů.

Jelikož se jedná o zařízení, které je určeno pro výrobu farmaceutických a medicínských potřeb, bylo zapotřebí jej navrhovat s ohledem na odolnost vůči chemickým látkám a desinfekcím, zejména chlóru. Tohoto požadavku se docílilo volbou materiálu všech komponent a dílů včetně spojovacího materiálu ze zušlechtěné oceli.

V diplomové práci byly splněny všechny stanovené cíle. Z návrhu je možné realizovat stříhací zařízení modulární výrobní linky pro výrobu sofistikovaných adhezivních krytů ran.

Seznam použité literatury

- [1] MIKULKOVÁ, Monika. Přehled náplastí, které naleznete v lékárně: Od textilních po náplasti ve spreji. *Lékárnické kapky* [online]. b.r. [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: <http://www.lekarnickekapky.cz/leky/zdravotnicke-pomucky/prehled-naplasti-ktere-naleznete-v-lekarne-od-textilnich-naplast.html>
- [2] *PHARMACIST PHARMA JOURNAL* [online]. b.r. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <http://www.pharmacistspharmajournal.org/2010/02/clean-room-classification-aspects-of.html#.Wu87Wuqsa00>
- [3] MAŠÍN, Ivan. *Inovační inženýrství: plánování a návrh inovovaného výrobku*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-852-6.
- [4] LEPŠÍK, Petr a Jan VODIČKA. *Plánování a řízení společných projektů*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-920-2.
- [5] *Rotary die cutting*. b.r. US4608895A. Uděleno 1984-03-14.
- [6] *Rotary die cutting system and method for sheet material*. b.r. US5388490A. Uděleno 1990-05-10.
- [7] *Automatic cutting apparatus for cloth*. b.r. US5200592A. Uděleno 1990-10-04.
- [8] Kaňák: *Výsekové nástroje* [online]. b.r. [cit. 2017-08-15]. Dostupné z: <http://www.kanakcz.com/Produkty-Kanak/Vysekove-nastroje/Plna-lepenka>
- [9] *ESON CZ s.r.o.: Magnetické válce* [online]. b.r. [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <http://www.eson.cz/magneticke-valce.htm>
- [10] *ESON CZ s.r.o.: Výsekové plechy* [online]. b.r. [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <http://www.eson.cz/vysekove-plechy.htm>
- [11] MAŠÍN, Ivan a Pavel JIRMAN. *Metody systematické kreativity*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-853-3.

- [12] *HENNLICH: Tlačné pružiny* [online]. b.r. [cit. 2017-08-24]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/pruziny-tlacne-pruziny-162/>
- [13] *Essmann + Schaefer* [online]. b.r. [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: <https://www.essmannrules.com/produkte/flachbettstanzen/schneiden.html>
- [14] JANDOVÁ, Věra. *AHP – její silné a slabé stránky* [online]. Olomouc, 2012 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: https://theses.cz/id/5j4i3e/Jandova_-_AHP_Jeji_silne_a_slabe_stranky.pdf. Diplomová. Univerzita Palackého v Olomouci.
- [15] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů, 2. díl*. 4. dopl. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-574-7.
- [16] *Festo Czech Republic: Válce podle norem CRDNG* [online]. b.r. [cit. 2017-11-22]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_CRDNG
- [17] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů, 1. díl*. 4. dopl. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-573-0.
- [18] *Matis s.r.o.: LR – s jednořadým a dvouřadým ložiskem* [online]. b.r. [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: <http://www.matis.cz/cs/produkt/lr-s-jednoradym-a-dvouradym-loziskem>
- [19] *Ložiska-Gufera.cz* [online]. b.r. [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <http://www.loziska-gufera.cz/loziska/kulickova-radialni/jednorada-619xx-69xx/61908/lozisko-61908-skf-11347.html>
- [20] *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-736-1033-7.
- [21] *RAVEO s.r.o.: Krokové motory* [online]. b.r. [cit. 2017-08-24]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/krokove-motory-NEMA-23>
- [22] *Igus®: Převodovky drylin* [online]. b.r. [cit. 2017-08-30]. Dostupné z: https://www.igus.cz/wpck/10517/Getriebe_fuer_Schrittmotoren
- [23] *T.E.A. TECHNIK s.r.o.: Třídílní spojka Oldham* [online]. b.r. [cit. 2017-10-11].

- [24] *RECA spol. s.r.o.* [online]. b.r. [cit. 2017-11-29]. Dostupné z:
https://www.reca.cz/fileadmin/user_upload/cz.reca.com/cz/Documents/Sroubovy_katalog/technicke_info_2.pdf

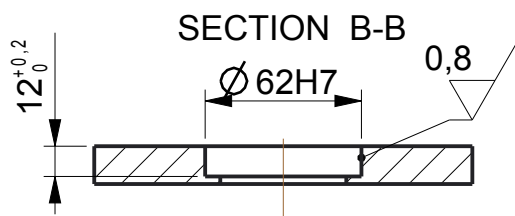
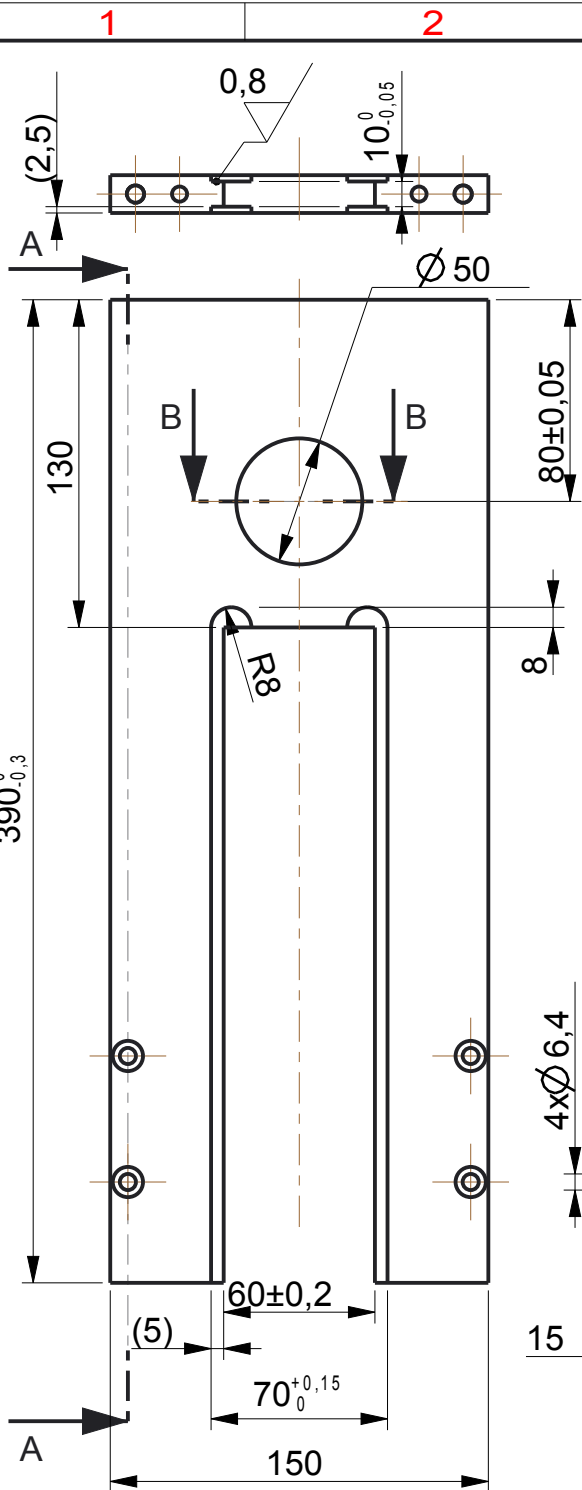
Seznam obrázků

Obrázek 1: Sestava náplasti, zdroj: [vlastní]	11
Obrázek 2: Stávající stříhací zařízení ve společnosti EMTEX s.r.o., zdroj: [vlastní]	13
Obrázek 3: Detail konstrukčního řešení stříhacích nástrojů, zdroj: EMTEX s.r.o., zdroj: [vlastní]	14
Obrázek 4: Časové rozvržení projektu, zdroj: [vlastní]	16
Obrázek 5: Ganttův diagram, zdroj: [vlastní]	16
Obrázek 6: Rotační řezání válcovými nástroji, zdroj: [5]	18
Obrázek 7: Rotační řezání s hladkým a magnetickým válcem s výměnnými plechy, zdroj: [6]	19
Obrázek 8: Automatické laserové řezací zařízení, zdroj: [7]	20
Obrázek 9: Výsekový nástroj s vloženými pásovými noži v různých tvarech, zdroj: [8]	21
Obrázek 10: Magnetická deska, zdroj: [9]	22
Obrázek 11: Výsekový plech, zdroj: [10]	22
Obrázek 12: Hodnoty tvrdosti břitů, zdroj: [10]	22
Obrázek 13: Magnetický válec s nasazeným výsekovým plechem, zdroj: [vlastní]	23
Obrázek 14: Hladký protitlakový válec, zdroj: [vlastní]	23
Obrázek 15: Rotační válce s výměnným povrchem, zdroj: [vlastní]	29
Obrázek 16: Vybroušený tvar natočený o určitý úhel, zdroj: vlastní]	30
Obrázek 17: Zbroušená ploška ostří, zdroj: [vlastní]	30
Obrázek 18: Parametry nerezové tlačné pružiny, zdroj: [12]	31
Obrázek 19: Rotační válce s výměnným výsekovým plechem, zdroj: [vlastní]	32
Obrázek 20: Detail řešení konceptu B, zdroj: [vlastní]	32
Obrázek 21: Lineární vysekávání materiálu, zdroj: [vlastní]	33
Obrázek 22: Výsekový nástroj, zdroj: [vlastní]	34
Obrázek 23: Základní rozměry mag. válce, zdroj: [vlastní]	40
Obrázek 24: Rozměry přítlakového válce, zdroj: [vlastní]	41
Obrázek 25: Čelní ozubené kolo, zdroj: [vlastní]	41
Obrázek 26: Tabulka hodnot síly pneuválce, zdroj: [16]	42
Obrázek 27: Pneumatický válec CRDNG, zdroj: [16]	42
Obrázek 28: Reakce v ložiskách (rolnách), zdroj: [vlastní]	43
Obrázek 29: Rozložení síly na rolnu v místě b, zdroj: [vlastní]	43
Obrázek 30: Síly působící od rolen na magnetický válec, zdroj: [vlastní]	45

Obrázek 31: Síly působící na protitlakový válec, zdroj: [vlastní]	45
Obrázek 32: Vygenerovaná síť konečných prvků, zdroj: [vlastní]	47
Obrázek 33: Okrajové podmínky na válci, zdroj: [vlastní]	47
Obrázek 34: Průhyb válce, zdroj: [vlastní]	48
Obrázek 35: Průběh momentů na válci, zdroj: [vlastní]	49
Obrázek 36: Vyznačení místa vrubu na válci, zdroj: [vlastní]	49
Obrázek 37: Pohled na pohonnou soustavu válců, zdroj: [vlastní]	51
Obrázek 38: Krokový motor NEMA 23, charakteristika motoru, zdroj: [21]	51
Obrázek 39: Planetární převodovka pro krokové motory, zdroj: [22]	52
Obrázek 40: Spojka OLDHAM, zdroj:[23]	52
Obrázek 41: Rám válců, zdroj: [vlastní]	53
Obrázek 42: Okrajové podmínky modelu rámu, zdroj: [vlastní]	54
Obrázek 43: Deformace zatíženého rámu, zdroj: [vlastní]	55
Obrázek 44: Výztužná žebra, zdroj: [vlastní]	55
Obrázek 45: Deformace rámu s výztužnými žebry, zdroj: [vlastní]	56
Obrázek 46: Deformace rámu s upravenými výztužnými žebry, zdroj: [vlastní]	56
Obrázek 47: Napjatostní analýza optimalizovaného rámu, zdroj: [vlastní]	57
Obrázek 48: Zobrazení výsledné konstrukce, zdroj: [vlastní]	58
Obrázek 49: Stříhací zařízení s napínáním a pásovým dopravníkem, zdroj: [vlastní]	59
Obrázek 50: Vystřižená náplast stávajícím řešením, zdroj: [vlastní]	60
Obrázek 51: Zkušební zařízení společnosti ESON CZ s.r.o., zdroj: [vlastní]	61
Obrázek 52: Výsledek testu stříhu krytu ran a jednotlivých materiálů, ze kterých se kryty skládají (plast, papír, textilie, ...), zdroj: [vlastní]	61

Seznam tabulek

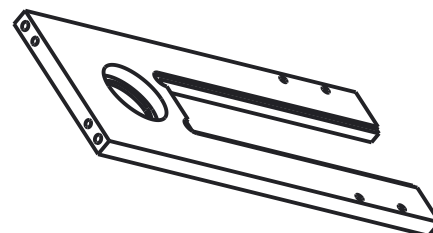
Tabulka 1: Technické zadání.....	12
Tabulka 2: Inovační prohlášení	17
Tabulka 3: Korelační matice inovačních příležitostí.....	24
Tabulka 4: Zákaznické potřeby	25
Tabulka 5: Metoda QFD (House of Quality), zdroj: [vlastní].....	27
Tabulka 6: Morfologická matice, zdroj [vlastní]	28
Tabulka 7: Hodnoty významností jednotlivých kritérií	36
Tabulka 8: Snadnost změny vystřihovaného tvaru	36
Tabulka 9: Rychlost stříhání	36
Tabulka 10: Kvalita stříhu.....	37
Tabulka 11: Kompaktnost zařízení	37
Tabulka 12: Jednoduchost konstrukce	37
Tabulka 13: Výsledná matice vektorů jednotlivých kritérií + kritéria	38
Tabulka 14: Specifikace ozubení	41
Tabulka 15: Součinitele a koeficienty pro nerezovou ocel [20].....	50

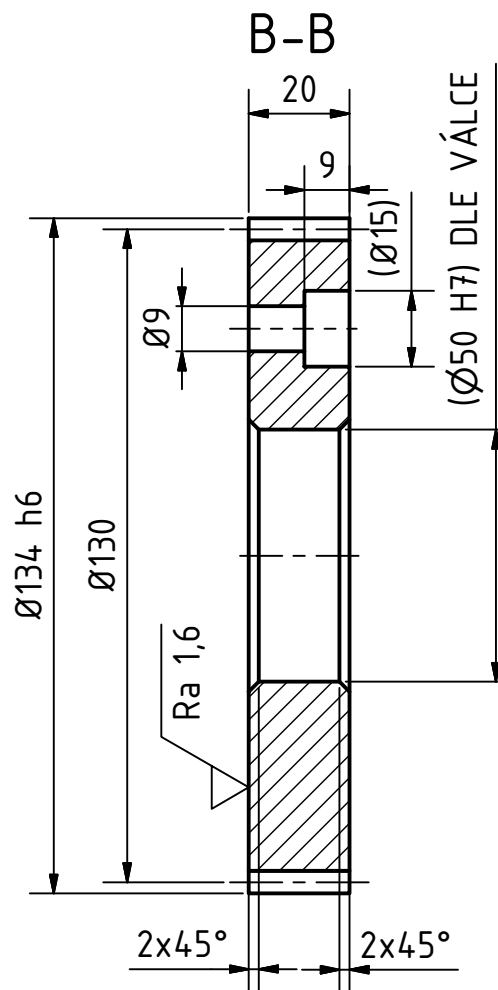
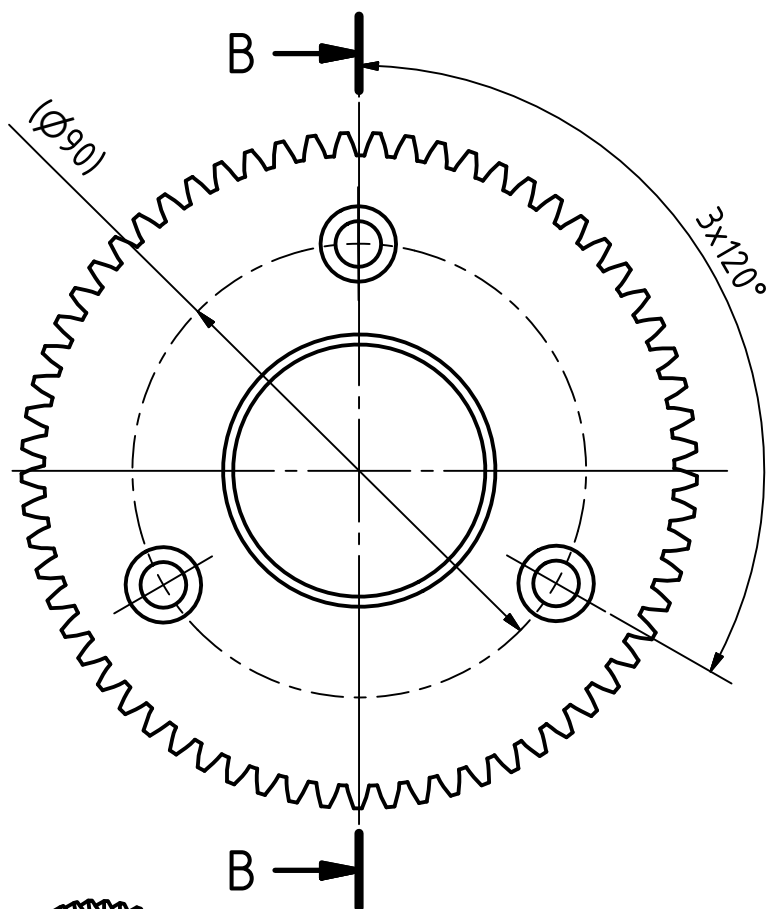


SECTION A-A

SECTION B-B

Roz. - Polot.		PLECH TL. 10 mm				Presnos CSN ISO 2768- mK	
		c)		Mater.	1.4034	Tr. odp	Tolerovani
		b)		C. hm		Hr. hm.	
		a)					
Zmena		Datum	Index	Podpisy	TU v Liberci		
Meritko	Pozn.	Navrh					
0,333		Kreslil	DOLANSKY				
C. seznamu		Prezkousel					
C. sestavy		Technolog					
Stary vykr.		Normaliz.			Cis. vykresu 9_TU10_1410 list 1 listu 1		
Novy vykr.		Schvail					
		Datum	Mar-06-18				

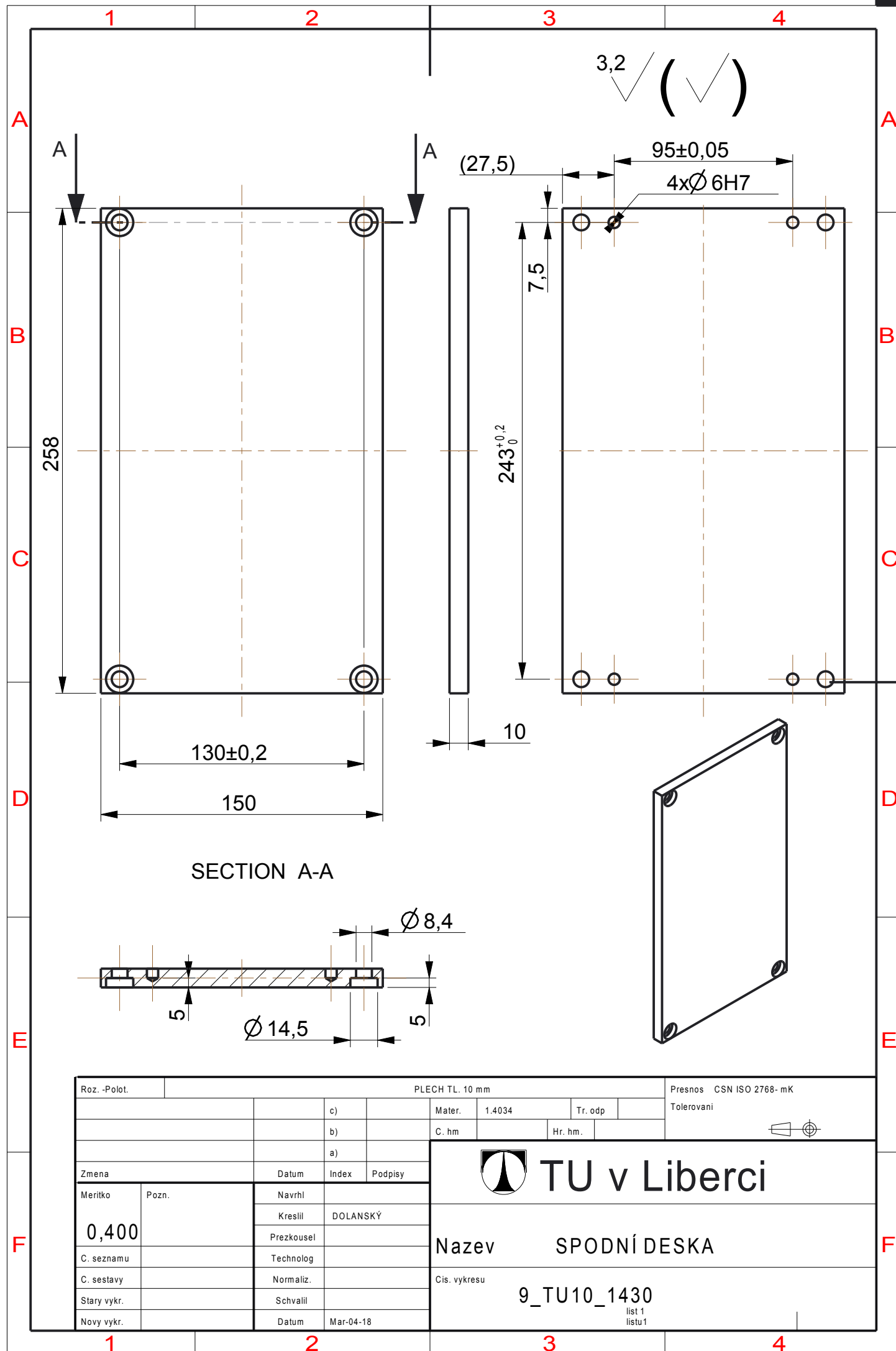





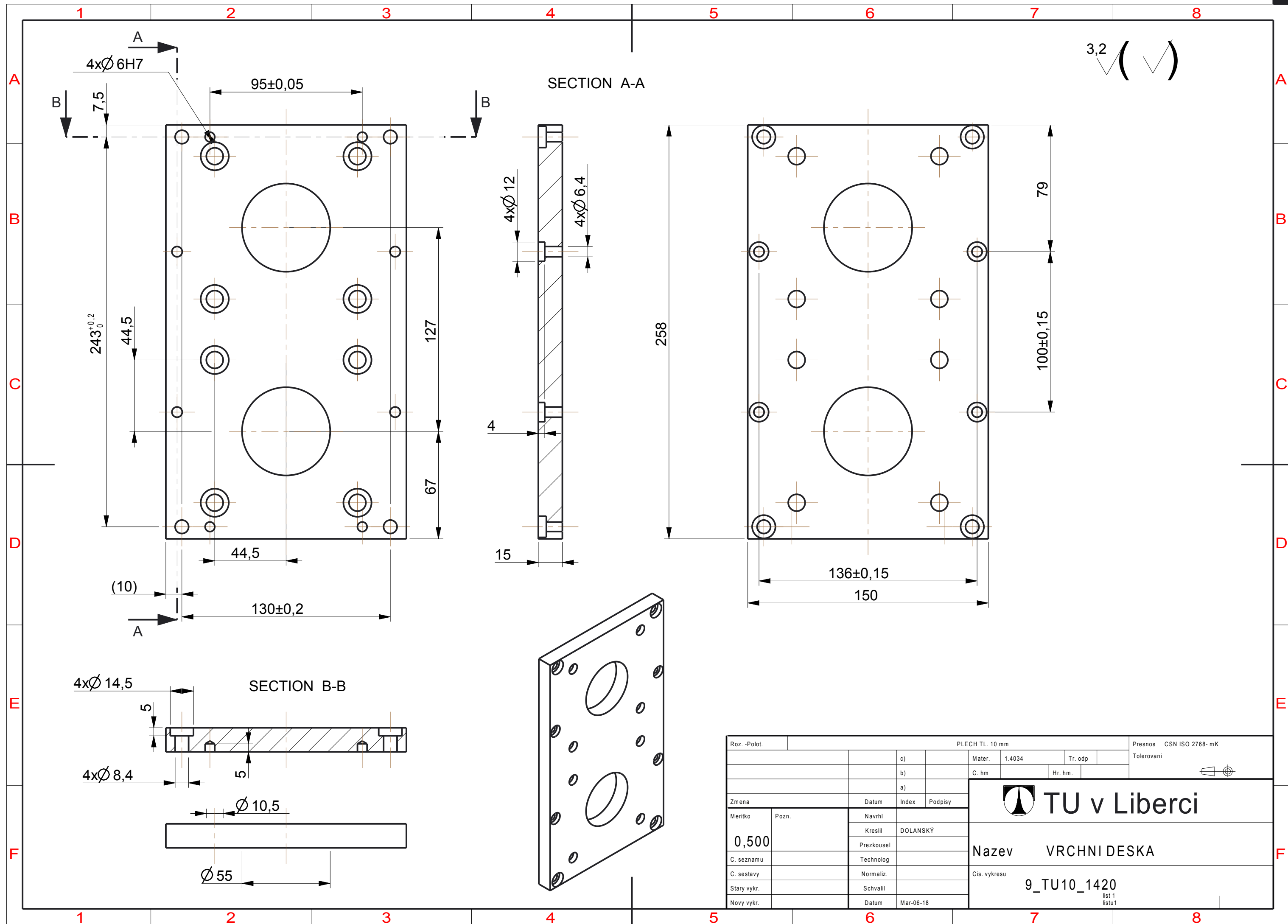
modul	m	2 mm
počet zubů	z	65
roztečná kružnice	d	130 mm
hlavová kružnice	da	134 mm
patní kružnice	df	125 mm
šířka ozubení	b	20 mm
úhel profilu (záběru)	α	20°

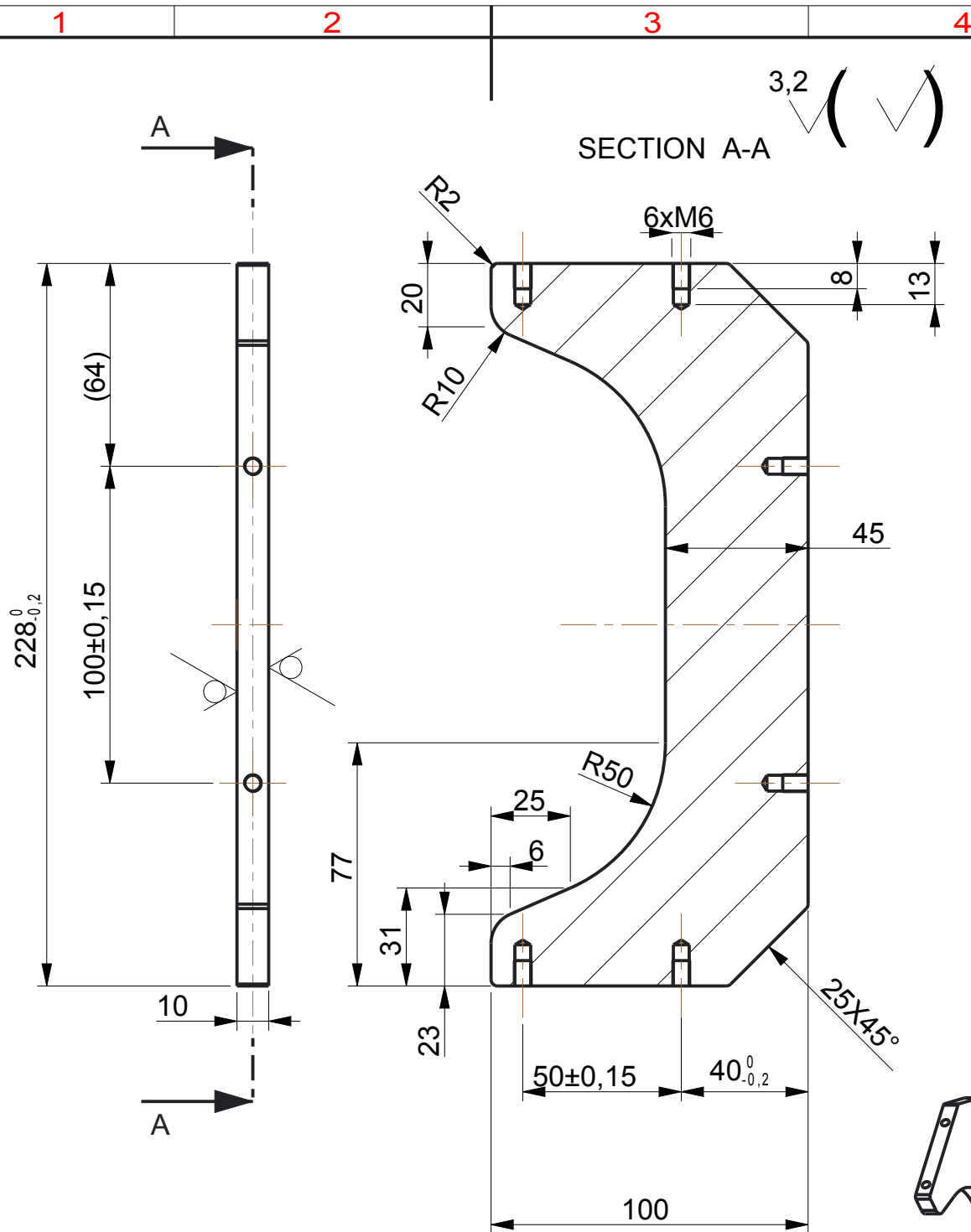
- DRSNOSTI NEOZNAČENÝCH PLOCH
DLE VÝROBCE
- (MATERIÁL NAPŘ.: OCEL 1.4305)

				Presnos CSN ISO 2768- mK			
				TU v Liberci			
				ČELNÍ OZUBENÉ KOLO			
				9_TU10_1180			
				1			
				A4			
Stav	Změny	Datum	Jméno				



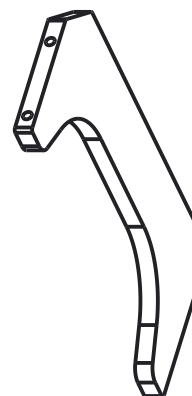
Roz. -Polot.		PLECH TL. 10 mm					Presnos CSN ISO 2768- mK	
			c)		Mater.	1.4034	Tr. odp	Tolerovani
			b)		C. hm		Hr. hm.	
			a)					
Zmena		Datum	Index	Podpisy	<div> TU v Liberci</div>			
Meritko	Pozn.	Navrhl						
0,400		Kreslil	DOLANSKÝ					
C. seznamu		Prezkousel						
C. sestavy		Technolog						
C. sestavy		Normaliz.			Nazev SPODNÍ DESKA			
Stary vykr.		Schvailil			Cis. vykresu 9_TU10_1430			
Novy vykr.		Datum	Mar-04-18		list 1 listu1			

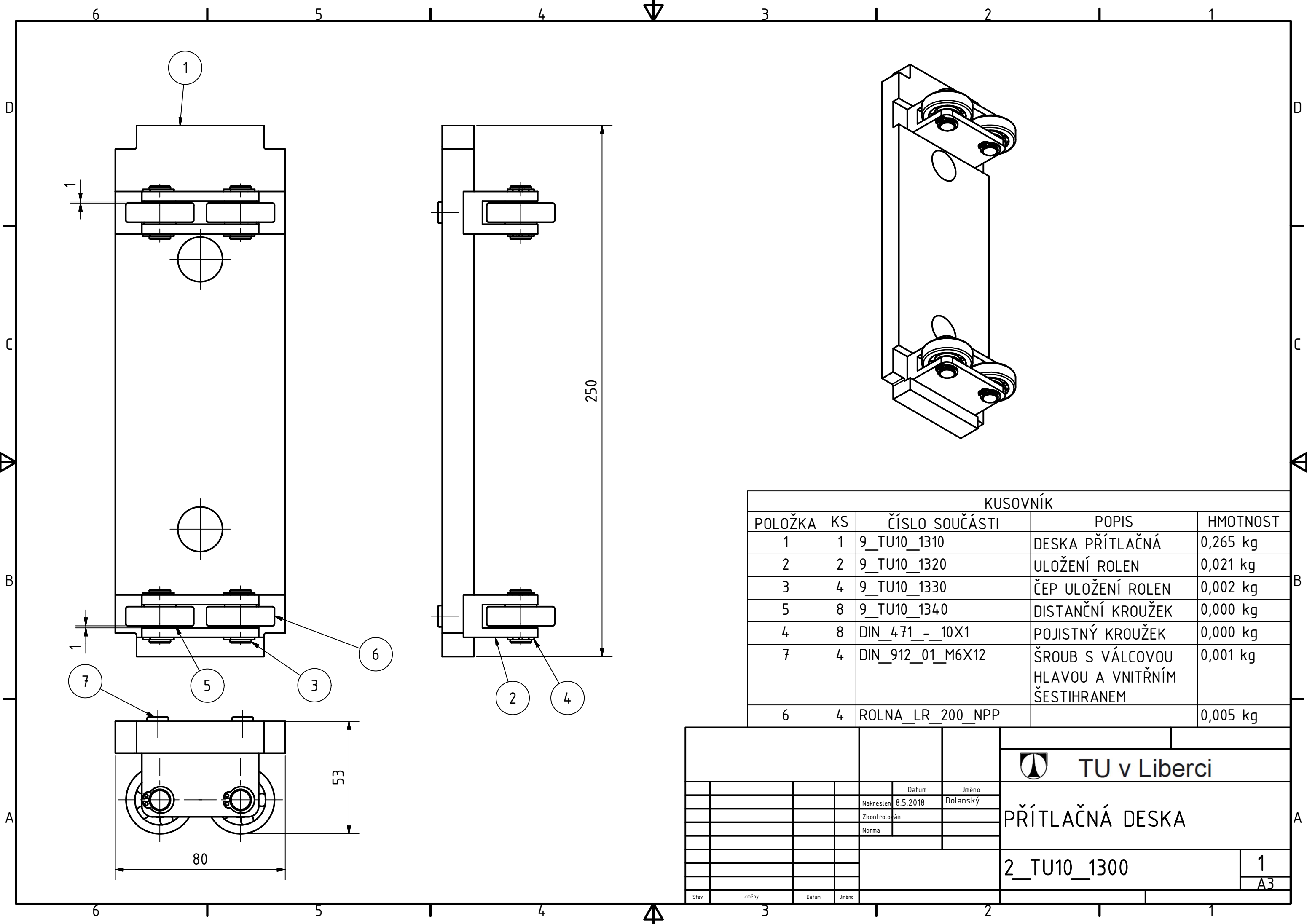




-SPICKA VRTANYCH OTVORU
DLE UHLU HROTU VRTAKU (118°)
-NEOZNACENE RADIUSY R= 2

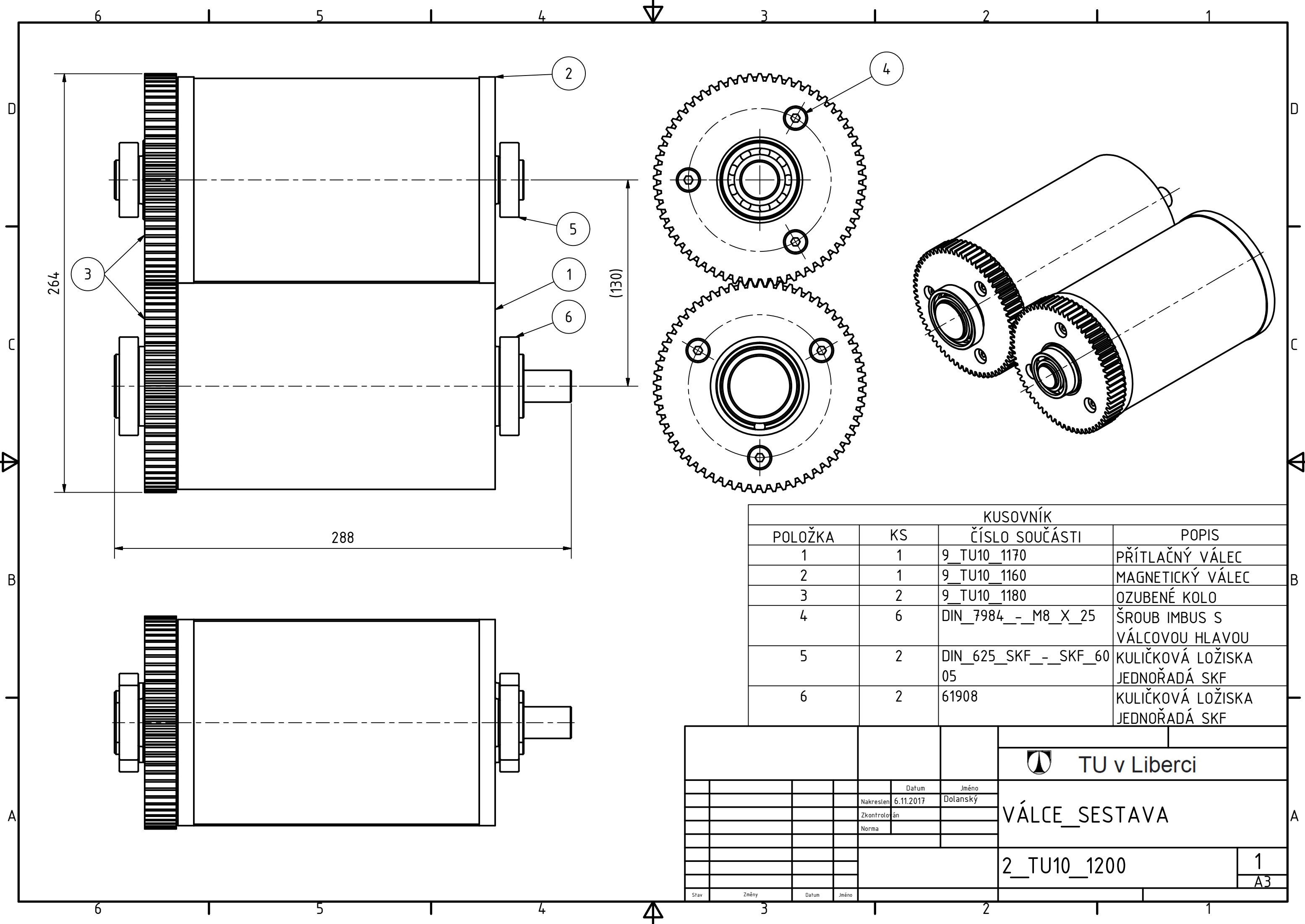
Roz. - Polot.		PLECH TL. 10 mm				Presnos CSN ISO 2768- mK	
		c)		Mater.	1.4034	Tr. odp	Tolerovani
		b)		C. hm		Hr. hm.	
		a)					
Zmena		Datum	Index	Podpisy	TU v Liberci		
Meritko	Pozn.	Navrhl					
0,500		Kreslil	DOLANSKY				
C. seznamu		Prezkousel					
C. sestavy		Technolog					
Stary vykr.		Normaliz.			Cis. vykresu 9_TU10_1260 list 1 listu 1		
Novy vykr.		Schvail					
		Datum	18-06-18				

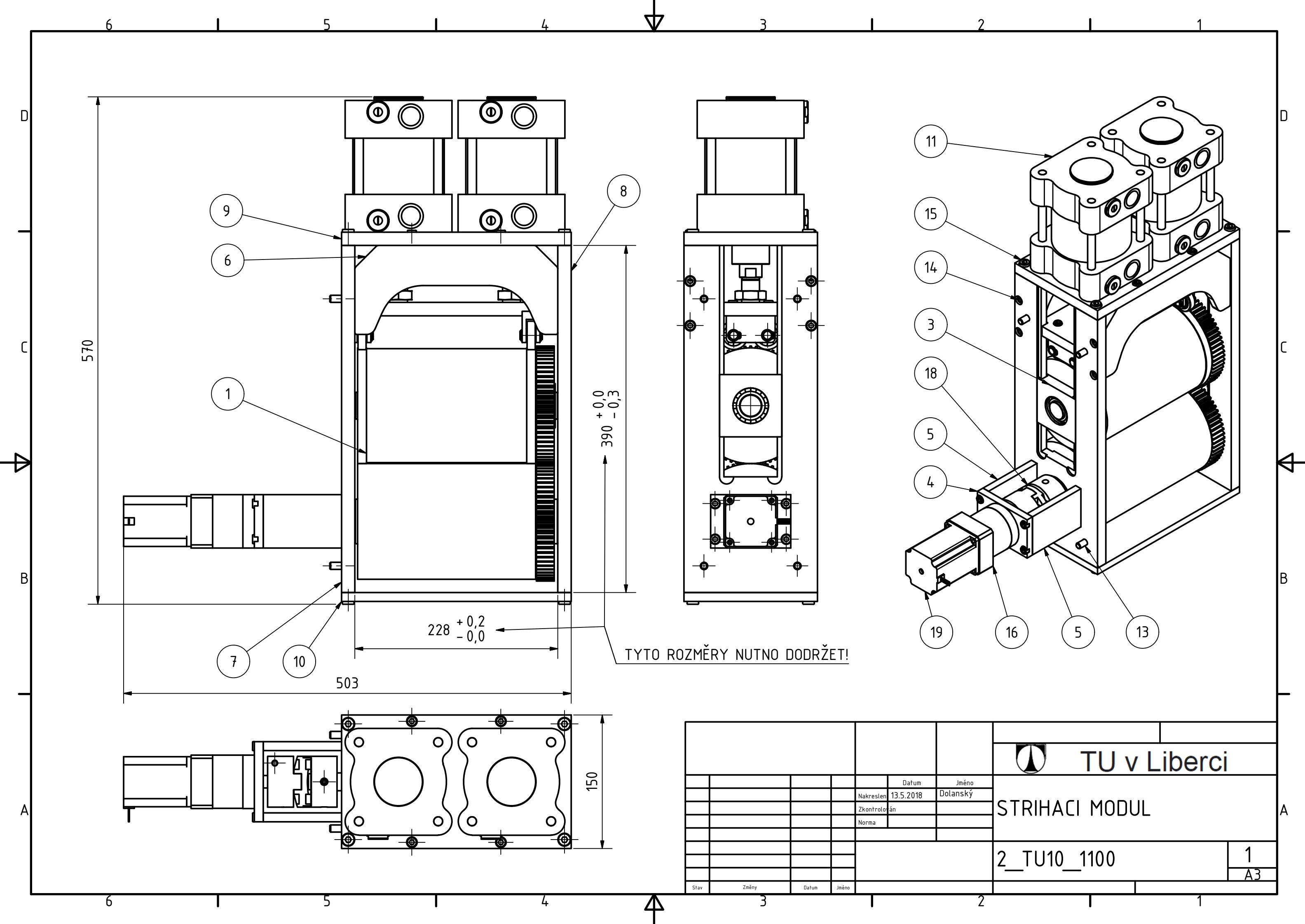




KUSOVNÍK				
POLOŽKA	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS	HMOTNOST
1	1	9_TU10_1310	DESKA PŘÍTLAČNÁ	0,265 kg
2	2	9_TU10_1320	ULOŽENÍ ROLEN	0,021 kg
3	4	9_TU10_1330	ČEP ULOŽENÍ ROLEN	0,002 kg
5	8	9_TU10_1340	DISTANČNÍ KROUŽEK	0,000 kg
4	8	DIN_471_-_10X1	POJISTNÝ KROUŽEK	0,000 kg
7	4	DIN_912_01_M6X12	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU A VNITŘNÍM ŠESTIHRANEM	0,001 kg
6	4	ROLNA_LR_200_NPP		0,005 kg


			TU v Liberci	
			PŘÍTLAČNÁ DESKA	
			2_TU10_1300	
			1	
			A3	
Stav	Změny	Datum	Jméno	





KUSOVNÍK

POLOŽKA	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS	HMOTNOST
1	1	2_TU10_1200	STŘÍHACÍ VÁLCE	5,883 kg
2	1	2_TU10_1300	PŘÍTLAČNÁ DESKA	0,336 kg
3	2	9_TU10_1130	LOŽISKOVÝ DOMEK VODICÍ	0,039 kg
4	1	9_TU10_1210	DESKA PŘIPEVNĚNÍ PŘEVODOVKY	0,037 kg
5	2	9_TU10_1220	DESKA PŘIPEVNĚNÍ MOTORU 1	0,052 kg
6	2	9_TU10_1260	ŽEBRO VYSTUŽENÍ RÁMU	0,134 kg
7	1	9_TU10_1400	BOČNICE KOTVÍCÍ	0,568 kg
8	1	9_TU10_1410	BOČNICE LETMÁ	0,580 kg
9	1	9_TU10_1420	VRCHNÍ DESKA	0,477 kg
10	1	9_TU10_1430	SPODNÍ DESKA	0,382 kg
11	2	160889_CRDNG100_ASM	PNEUMATICKÝ VÁLEC	1,637 kg
12	8	CSN_EN_ISO_021143_01_M10X20		0,003 kg
13	4	CSN_EN_ISO_021143_01_M8X20		0,002 kg
14	20	DIN_912_01_M6X12		0,001 kg
15	8	DIN_912_01_M8X12		0,002 kg
16	1	GEA-60-3-60-ST-063_ASM	PŘEVODOVKA PLANETÁRNÍ	0,215 kg
17	8	KOLIK_VALCOVY_ISO2338_6X14		0,000 kg
18	1	ME44-0X57F-20--0X57G-14--57D_ASM	SPOJKA OLDHAM	0,164 kg
19	1	MOT_AN_S_060_020_056_L_A_A_AAA_2	KROKOVÝ MOTOR	0,221 kg

								 TU v Liberci		
				Datum	Jméno	STRIHACI MODUL_KUSOVNIK				
				Nakreslen	7.5.2018					Dolanský
				Zkontrolován						
				Norma						
							2_TU10_1100		1	
									A4	
Stav	Změny	Datum	Jméno							